DIE NATURWISSENSCHAFTEN

17. Jahrgang | 18. Oktober 1929 | Heft 42

Physikalische Untersuchungen an Streichinstrumenten.

Von H. Backhaus, Greifswald.

I. Einleitung.

Aus dem 17. und 18. Jahrhundert sind uns eine Anzahl von Streichinstrumenten erhalten geblieben, die an Klangschönheit nach dem Urteil aller Kenner unerreicht dastehen. Es handelt sich dabei um Werke von einigen, hauptsächlich italienischen Meistern, unter denen besonders hervorragen: Amati, Steiner, Stradivarius, Guarnerius, Bergonzi u. a. In der seitdem verflossenen Zeit hat die Technik des Streichinstrumentebaues keine weiteren Fortschritte gemacht, was sich wohl am besten aus der Tatsache ergibt, daß an den äußeren Formen der Instrumente, wie sie ihnen die Entwicklung bis zum 18. Jahrhundert gegeben hat, auch heute noch sklavisch festgehalten wird. Die heutige Geigenbautechnik befindet sich vielmehr diesen alten Meisterwerken gegenüber in einem Zustande der Hilflosigkeit. Es gelingt heutzutage nicht mehr, Instrumente zu bauen, die mit den alten klassischen Italienern den Vergleich aushalten können. Wenn einmal eine Geige besser gerät als andere, so ist dies mehr dem Zufall zu danken als einem sachgemäßen Vorgehen.

Es sind mehrfach Versuche gemacht worden, alte klassische Instrumente genau nachzubauen. Das hat jedoch keine befriedigenden Resultate ergeben, weil es wohl gelingt, die äußeren Formen genau nachzuahmen, nicht aber die Faserstruktur des bei dem Musterinstrument verwendeten Holzes. Die Kunst der alten Meister bestand augenscheinlich darin, für ein bestimmtes Holz, das zur Verfügung stand, auch die passende Form zu finden. Dabei war man, wie der Augenschein lehrt, im 18. Jahrhundert nicht in der Lage, so vorzügliches Holz zum Geigenbau zu benutzen, wie wir es heute zur Verfügung haben. Zur vollendeten Ausübung einer solchen Handwerkskunst war sicher eine große Menge von Einzelerfahrungen erforderlich, die, durch Generationen von Meistern und Schülern gesammelt und bereichert, schließlich wie in einer organischen Fortentwicklung zu dem Höhepunkt geführt haben, der im 18. Jahrhundert erreicht worden ist.

An Bemühungen, dies „Geheimnis" der alten italienischen Geigen zu lüften, hat es nicht gefehlt. Aber die hiernach angegebenen Bauvorschriften haben meist die Form von kurzen Rezepten, woraus sich schon ihre Unzulänglichkeit ergibt. Denn man wird hierdurch dem Wesen der alten Handwerkskunst und ihrer Verwandtschaft zu den bildenden Künsten wenig gerecht. Bei diesen würde man von derartigen Rezepten wohl niemals einen Erfolg erwarten, und ebensowenig ist ein solcher in der Technik des Streichinstrumentebaues bisher durch Befolgung der vorgeschlagenen Rezepte zu verzeichnen gewesen. Dieser Mißerfolg ist wohl darin begründet, daß den verschiedenen Vorschlägen nicht eine eingehende Kenntnis der Wirkungsweise und der besonderen charakteristischen Eigenschaften der vorhandenen Musterinstrumente zugrunde lag. Und in der Tat war es bis vor kurzem noch sehr schwer, wenn nicht unmöglich, eine solche Kenntnis zu gewinnen. Erst die neueren Fortschritte der physikalischen Forschung und der Elektrotechnik setzen uns instand, die Lösung dieser Fragen mit Aussicht auf Erfolg in Angriff zu nehmen.

Wenn wir uns das Ziel setzen, Instrumente zu bauen, die den alten klassischen gleichwertig sind, so ist in erster Linie objektiv die Frage zu klären, welche Eigenschaften es denn sind, die diese Musterinstrumente gemeinsam vor anderen auszeichnen. Aus subjektiver Beobachtung wissen wir, daß der Klang der klassischen Instrumente bestimmte Eigenschaften hat, die uns diesen Klang als besonders schön und edel empfinden lassen. Außerdem ist bekannt, daß dieser Klang besonders „gut trägt", so daß selbst in einem sehr großen Saal die Einzelheiten des Klanges überall gut hörbar sind. Schließlich macht sich für den Spieler der Vorzug guter Instrumente dadurch bemerkbar, daß sie „leicht ansprechen", d. h. daß es eines möglichst geringen Zeit- und Kraftaufwandes bedarf, um den Klang in der gewünschten Schönheit und Fülle zu erzeugen.

Es ist wohl zunächst nötig, die diesen subjektiven Beobachtungen zugrunde liegenden physikalischen Tatsachen objektiv festzustellen. Erst wenn das gelungen ist, wenn man also weiß, welche *physikalischen* Eigenschaften ein klassisches Instrument vor anderen auszeichnen, wird es möglich sein, zu einer wirklichen, nicht bloß äußerlichen Nachahmung solcher Instrumente überzugehen. Die Untersuchungen, über die in der vorliegenden Arbeit berichtet wird, sollen hauptsächlich zur Klärung der ersten dieser beiden Fragen beitragen, also zur objektiven Feststellung der physikalischen Eigenschaften von Streichinstrumenten dienen.

II. Wirkungsweise der Streichinstrumente.

Die Klangerzeugung erfolgt bei den Streichinstrumenten, abgesehen von einigen Ausnahmefällen, auf die wir hier nicht einzugehen brauchen, durch Anstreichen der Saite mit einem Bogen aus Pferdehaaren, die durch Einreiben mit Kolophonium klebrig gemacht worden sind. Der Mechanismus dieses Anstreichens ist folgender: Wenn der Bogen über die Saite geführt wird, so

nimmt er sie vermöge der Klebekraft des Kolophoniums ein Stückchen mit, bis die elastische Kraft, die die Saite in ihre Ruhelage zu bringen bestrebt ist, die Klebekraft überwiegt. Die Saite schwingt, an den Bogenhaaren entlang gleitend, zurück, um dann aufs neue vom Bogen erfaßt und mitgenommen zu werden. Die Frequenz, mit der dieser Vorgang erfolgt, ist die natürliche Eigenfrequenz der Saite. Die Geschwindigkeit, mit der der angestrichene Saitenpunkt sich aus seiner Ruhelage entfernt, muß, wenn die Bogengeschwindigkeit konstant ist, ebenfalls konstant sein. Dies gilt, wie man leicht zeigen kann, in erster Annäherung auch für die Rückbewegung. Die Kinematik gestrichener Saiten ist in sehr ausführlicher Weise von C. V. RAMAN[1] behandelt worden. Seine Resultate, soweit sie für das vorliegende Problem von Wichtigkeit sind, können wir folgendermaßen kurz zusammenfassen: Zeichnet man das Geschwindigkeitsdiagramm der Saitenbewegung in der Weise, daß man über der Saite als Abszisse die Transversalgeschwindigkeiten der einzelnen Saitenpunkte als Ordinaten aufträgt, so besteht das Geschwindigkeitsdiagramm aus $n + 1$ parallelen Geraden, die gegen die x Achse gleich geneigt sind und gleichen Abstand voneinander haben. Der Übergang von einer Geraden zur anderen erfolgt unstetig, so daß sich also n Unstetigkeiten der Geschwindigkeit ergeben, die auf der Saite hin- und herschwingen. Der einfachste Fall, der übrigens bei Streichinstrumenten für musikalische Klänge fast ausschließlich in Betracht kommt, ist der, wo $n = 1$ ist, wo also nur eine einzige Unstetigkeit in dem Geschwindigkeitsdiagramm hin- und herschwingt. Das Diagramm für diesen Fall ist in Fig. 1 gezeichnet. Es besteht nach dem Vorhergesagten aus zwei parallelen Geraden, AC und DB, die durch die Saitenenden gehen. In dem in der Fig. 1 angedeuteten Zeitpunkt besteht also das Geschwindigkeitsdiagramm aus den beiden Geraden AE und GB.

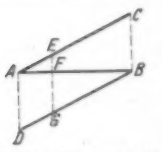


Fig. 1. Geschwindigkeitsdiagramm.

Die Schwingungskurve eines einzelnen Saitenpunktes läßt sich aus dem Geschwindigkeitsdiagramm leicht gewinnen: Es ergibt sich eine einfache Zickzacklinie, wie in Fig. 2 angedeutet. Die punktierte Linie entspricht der Ruhelage.

Fig. 2. Schwingungskurve eines Saitenpunktes.

[1] C. V. RAMAN, Ind. Assoc. Sci. Bul., S. 15, 1–158 (1918); s. auch GEIGER-SCHEEL, Handbuch der Phys. 8, 372 ff. Berlin 1927.

Den hier beschriebenen Schwingungstypus wollen wir nach dem Vorgange von RAMAN als den ersten Schwingungstypus, dementsprechend einen Vorgang mit n Unstetigkeiten als den n-ten Schwingungstypus bezeichnen.

Der erste Schwingungstypus ist schon von HELMHOLTZ[1] untersucht worden und wird daher auch vielfach HELMHOLTZscher Schwingungstypus genannt. Man kann die Bewegung der Saite hierbei vollständig durch den Ausdruck beschreiben:

$$y = \sum_{\nu} \frac{T\alpha}{\nu^2 \pi^2} \sin \frac{2\nu\pi t}{T} \sin \frac{\nu \pi x}{l}. \qquad (1)$$

Darin ist l die Länge der Saite. Die x-Achse liegt in der Saite, y ist die Elongation des Saitenpunktes mit der Abszisse x, T die Dauer einer Periode, α die Größe der Unstetigkeit im Geschwindigkeitsdiagramm. Man erkennt, daß beim HELMHOLTZschen Schwingungstyp die Amplituden der Teilschwingungen proportional $\frac{1}{\nu^2}$ oder $\frac{1}{n^2}$ sind, wo n die Schwingungszahl in der Sekunde bedeutet. Die Grundschwingung ist der Amplitude nach die stärkste. Bei den höheren Schwingungstypen ist das Gesetz, das die Größen der Amplituden zueinander angibt, ein anderes; im besonderen ist nicht der Grundton vorherrschend, sondern immer der Teilton, dessen Ordnungszahl mit der Ordnung des Schwingungstyps übereinstimmt. So überwiegt also z. B. beim zweiten Schwingungstyp die zweite Teilschwingung.

Welcher Schwingungstypus zustande kommt, hängt nach der RAMANschen Theorie wesentlich von dem Druck ab, mit dem der Bogen auf die Saite aufgesetzt wird. Um den HELMHOLTZschen Schwingungstyp zu erregen, ist ein bestimmter Mindestdruck erforderlich. Ist er nicht erreicht, so entsteht ein höherer Schwingungstypus.

Die im vorstehenden aufgeführten ersten Ergebnisse der RAMANschen Theorie sind unter vereinfachenden Annahmen hergeleitet, die in Wirklichkeit nicht streng erfüllt sind. Sie reichen zwar aus, um einen ersten angenäherten Überblick über die Wirkungsweise von Streichinstrumenten zu ermöglichen, lassen aber einige interessante Besonderheiten ungeklärt, auf die hier noch kurz hingewiesen werden soll. Es ist bekannt, daß, wenn eine Saite in einem Knotenpunkt eines Partialtones angestrichen wird, dieser Partialton in der Schwingung der Saite nicht erscheint. Das Geschwindigkeitsdiagramm ist dann, wie sich leicht zeigen läßt, eine treppenförmige Kurve, bestehend aus Geraden, die zur x-Achse parallel sind, mit den bereits erwähnten unstetigen Übergängen. Nach den bisher angedeuteten Überlegungen müßte nun der fehlende Teilton sofort erscheinen, wenn man mit der Anstrichstelle auch nur sehr wenig von dem Knotenpunkt abweicht, was nach physikalischen Überlegungen nicht möglich ist. Eine bessere Annäherung an die wirklichen Verhältnisse erhält man

[1] H. v. HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen, Beilage 6, S. 616.

dann, wenn man die Annahme beiseiteläßt, daß die Geschwindigkeit, mit der die Saite jeweils in ihre Ruhelage zurückkehrt, konstant ist. RAMAN[1] definiert die so entstehenden Modifikationen des HELMHOLTZschen Schwingungstyps als Übergangstypen. Die wirklichen Schwingungen von gestrichenen Saiten nähern sich diesen theoretisch gefundenen Übergangstypen an. Durch die Steifigkeit der Saite und die endliche Breite der Anstrichstelle ergeben sich noch einige weitere Abweichungen, die sich in der Hauptsache darin äußern, daß bei den experimentell erhaltenen Schwingungskurven die scharfen Ecken abgerundet sind.

Eine schwingende Saite ist wegen der geringen Größe ihrer Oberfläche nicht imstande, unmittelbar nennenswerte Schallenergie abzustrahlen. Bei den Streichinstrumenten wird das vielmehr dadurch erreicht, daß die Saitenschwingungen auf den Instrumentkörper übertragen werden. An Hand der Fig. 3 wollen wir zeigen, wie man sich diese Übertragung zu denken hat.

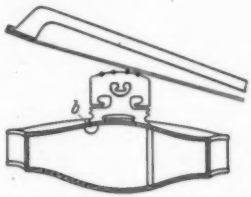


Fig. 3. Schnitt durch den Geigenkörper.

Die Transversalschwingungen der Saite versetzen den Steg in Kippschwingungen in seiner Ebene. Hierdurch gerät einmal die Geigendecke in Schwingungen, die durch den Baßbalken *b*, der unter dem linken Stegfuß durchlaufend von unten gegen die Decke geklebt ist (vgl. hierzu Fig. 25), auf große Teile der Decke übertragen werden, außerdem vermittelt der Stimmstock, der dicht neben dem rechten Stegfuß die Decke berührt, die Übertragung der Schwingungen auf den Boden des Instrumentes.

Man kann die Kombination von Saite und Steg einschließlich der damit verbundenen schwingungsfähigen Gebilde theoretisch betrachten und die Rückwirkungen studieren, die infolge der Nachgibigkeit des Steges auf die Saitenschwingungen ausgeübt werden. Auch hierzu sei auf die Arbeiten von RAMAN[2] verwiesen. Man findet, daß die Eigenschwingungen der Saite durch die Rückwirkung des Steges geändert werden, und zwar am stärksten dann, wenn eine der Eigenfrequenzen des Steges mit der Saitenfrequenz nahezu übereinstimmt. In diesem Fall wird die Schwingung der Saite stark gedämpft. Sie bedarf also zu ihrer Aufrechterhaltung eines Maximums an erregender Kraft, d. h. eines maximalen Bogendruckes.

Bezüglich der Erregung des den Geigenkörper umgebenden Mediums, d. h. der Übertragung der Schwingungen in das Schallfeld, ist mehrfach die Ansicht geäußert worden, daß hieran die *F*-Löcher der Streichinstrumente besonders beteiligt seien. Hiernach soll man sich z. B. eine Geige vorzustellen haben ähnlich wie eine Doppelsirene, derart nämlich, daß von den beiden *F*-Löchern abwechselnd Luft ausgestoßen und eingesogen wird. Abgesehen davon, daß die Amplituden des Geigenkörpers zu klein sind, als daß man eine hinreichende Strömung durch die *F*-Löcher annehmen könnte, zeigt auch ein experimenteller Vergleich der Druckverhältnisse unmittelbar vor den *F*-Löchern und vor dem festen Geigenkörper, daß von einer nennenswerten Wirkung dieser Art nicht die Rede sein kann. Man hat vielmehr die Körper der Streichinstrumente als akustische Flächenstrahler zu betrachten.

Wenn man nun nach Merkmalen sucht, durch die einzelne Streichinstrumente vor anderen ihrer Art charakterisiert oder ausgezeichnet sind, so hat man wohl von einer Untersuchung der Saitenschwingungen allein hierfür am wenigsten Klärung zu erwarten. Denn abgesehen von der Rückwirkung der Stegbewegung auf die Saitenschwingung, was aber als ein Effekt zweiter Ordnung zu betrachten ist, ist die Art der Saitenschwingung selbst nur durch Material, Spannung und wirksame Länge der Saite und durch die Art des Bogenanstriches bedingt. Unbedingt charakteristisch für ein Instrument wird aber die Schwingungsform sein, die der Instrumentkörper für die einzelnen Teiltöne der Klänge annimmt. Als Folge hiervon hat man charakteristische Eigentümlichkeiten in der Art der Austrahlung zu erwarten, und schließlich muß auch die Struktur der Klänge, das was man mit dem Ohr subjektiv wahrnimmt, bei objektiver Untersuchung besondere Merkmale zeigen. Wir wenden uns jetzt zu den experimentellen Ergebnissen, die zu diesen drei Fragen bisher erhalten worden sind.

III. Die Struktur von Streichinstrumentklängen.

Die objektive Untersuchung dieser Frage ist schon mehrfach in Angriff genommen worden[1]. Es leiden jedoch die älteren Untersuchungen hierzu meist unter dem Übelstand, daß es nicht gelang, Aufnahmeapparate herzustellen, die für hohe Frequenzen hinreichend empfindlich waren. Diese Schwierigkeit ist aus den ersten Zeiten der Rundfunktechnik bekannt. Bei Verwendung derartiger Aufnahmegeräte zeigte sich gerade beim Violinklang eine Entstellung in der Weise, daß der Klang flötenähnlich wurde. Es ist also von vornherein anzunehmen, daß die Klänge von Geigen wichtige und charakteristische Merkmale bei hohen Frequenzen zeigen.

[1] C. V. RAMAN, a. a. O.; außerdem Philosophic. Mag. **38**, 580 (1919).
[2] C. V. RAMAN, a. a. O.; s. auch GEIGER-SCHEEL, Handbuch der Phys. **8**, 370ff.

[1] D. C. MILLER, Science of musical Sounds **1916**; C. W. HEWLETT, Physic. Rev. **35**, 359 (1912); W. S. KASANSKY und S. N. RSCHEVKIN, Z. Physik **47**, 233 (1928).

Man hat sich nun zuerst zu fragen, was für eine Struktur man bei Streichinstrumentklängen unter Berücksichtigung der Wirkungsweise des Instrumentes zu erwarten hat. Die Kraft, die die Saitenschwingung auf den Steg ausübt, ist bekanntlich proportional dem Winkel, den die Saite am Steg mit ihrer Ruhelage bildet. Wir finden also nach (1) für diese Kraft unter Zugrundelegung des HELMHOLTZschen Schwingungstyps:

$$F = C\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = C\sum_{\nu}\frac{T\alpha}{\nu\pi l}\sin\nu\omega t\,.$$

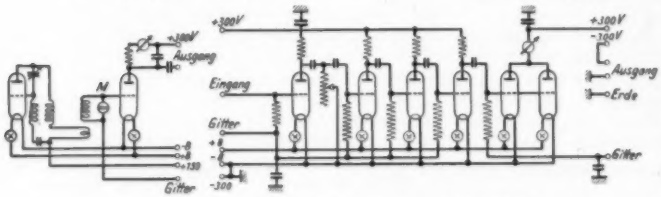


Fig. 4. Schaltung von Mikrophon und Verstärker.

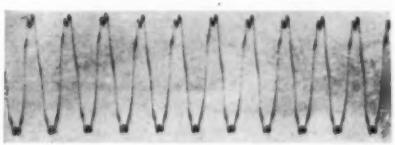
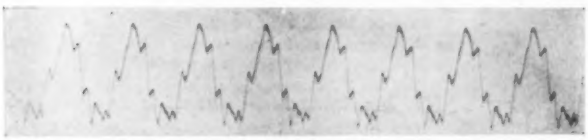


Fig. 5. Klang a_1, a-Saite, 440 Hz Guadagnini-Geige.

Würde der Geigenkörper sehr hoch abgestimmt sein, so würden also seine Elongationen umgekehrt proportional zur Ordnungszahl des betreffenden Teiltons oder zu seiner Frequenz sein. Das ist aber in Wirklichkeit nicht der Fall. Bei der Geige z. B. liegt nach hierüber vorliegenden Beobachtungen[1] eine starke Resonanz bei den tieferen Tönen, etwa in Gegend 270 Hertz. Oberhalb dieser Grenze — die Töne unterhalb davon wollen wir vorläufig außer acht lassen — kommt also durch die Resonanzwirkung des Instrumentes ein Faktor $\frac{1}{n^2}$ hinzu, so daß wir also für die Amplituden der einzelnen Teilschwingungen des Geigenkörpers einen Gang wie etwa $\frac{1}{n^3}$ zu erwarten haben, für die Geschwindigkeiten demnach einen solchen wie $\frac{1}{n^2}$. Aus der Theorie der Kugelstrahler, auf deren Resultate wir weiter unten eingehen werden, folgt, daß für Wellenlängen, die hinreichend klein im Vergleich zu den Abmessungen des strahlenden Körpers sind, die im Schallfeld zu erwartende Druckamplitude etwa proportional der Amplitude der Normalgeschwindigkeit des Strahlungskörpers ist. Diese Voraussetzung ist z. B. bei der Geige für Frequenzen etwa oberhalb von 300 Hertz hinreichend erfüllt. Unsere rohe Überschlagsrechnung gibt also das Resultat, daß, wenn man einen Druckempfänger als Mikrophon benutzt, die Amplituden der Teiltöne der aufgenommenen Geigenklänge sich etwa wie $\frac{1}{n^2}$ verhalten werden. Regelmäßig bei einem Instrument wiederkehrende Abweichungen von diesem Gang deuten also auf charakteristische Resonanzen dieses Instrumentes hin.

Der Druckempfänger, der für die Registrierung von Geigenklängen vom Verfasser benutzt wurde, war ein RIEGGERsches Hochfrequenzkondensatormikrophon. Über den Aufbau und die Wirkungsweise muß auf die Literatur verwiesen werden[1]. Hier möge es genügen, zu erwähnen, daß das Mikrophon durch Vergleich mit der RAYLEIGHschen Scheibe geeicht wurde, und daß man nach der Eichkurve erwarten konnte, Frequenzen bis etwa 8000 Hertz aufnehmen zu können. Die Gesamtschaltung von Mikrophon und Verstärker ist in Fig. 4 wiedergegeben.

Zur Registrierung wurde im allgemeinen der normale Siemens-Oszillograph mit hochabgestimmter Schleife benutzt. Für eine Anzahl von Aufnahmen, wo es darauf ankam, den Klang während seiner ganzen Dauer zu registrieren, wurde eine größere Registriertrommel von 1 m Umfang und etwa 35 cm Höhe verwendet.



1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Partialton
1,00	0,16	0,07	0,25	0,11	0,04	0,12	0,04	0,03	Amplitude

Fig. 6. Klang h_1, a-Saite, 494 Hz Testori-Geige.

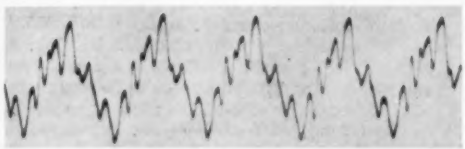
Fig. 5 ist die Aufnahme des Klanges der freien a-Saite einer Guadagnini-Geige. Es fällt hierbei auf der nahezu sinusförmige Kurvenverlauf. Das deutet darauf hin, daß dieses Instrument eine Resonanz beim Grundton des a_1, also bei 440 Hertz hat. Außerdem ist schon aus dem Bilde ersichtlich, daß der siebente Teilton, 3080 Hertz, hervortritt. Etwas Ähnliches zeigt sich bei der Fig. 6, h_1 494 Hertz auf der a-Seite einer Testori-Geige. Das

[1] Siehe z. B. C. V. RAMAN, Philosophic. Mag. **39**, 535 (1920); Proc. Ind. Assoc. Sci. **6**, 19 (1925); GEIGER-SCHEEL, Handbuch der Phys. **8**, 386f.

[1] F. TRENDELENBURG, Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern **3** II, 43 (1924); **4** I, 1 (1925); **4** II, 200 (1925); **5** III, 175 (1927).

Instrument hat eine sehr starke Resonanz bei b_1, 466 Hertz. Es zeigt sich, daß diese auch noch bei h_1 stark hervortritt, denn die Kurve nähert sich immer noch einigermaßen der Sinusform an. Auch hier tritt der siebente Teilton, 3458 Hertz, hervor. Außerdem ergibt die Analyse hier eine Bevorzugung des vierten Teiltones, 1976 Hertz. Fig. 7 ist fis_1 370 Hertz, gespielt auf der d-Saite einer Stradivarius-Geige. In diesem Klang sind besonders betont der fünfte Teilton, 1850 Hertz, und das Gebiet vom neunten bis elften Teilton, 3330 bis 4070 Hertz.

Hiermit haben wir eine Reihe von Resonanzen gefunden, die für eine Geige charakteristisch sind. Sie liegen etwa in der Gegend zwischen 400 und 550 Hertz, 1800 und 2000 Hertz, 3000 und 4000 Hertz. Es wurde nun versucht, ein Urteil über



1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1,00	0,04	0,23	0,07	0,44	0,31	0,26	0,02	0,06	0,07	0,07	0,04

13.	14.	15.	Partialton
0,03	0,02	0,01	Amplitude

Fig. 7. Klang fis_1, d-Saite, 370 Hz Antonius-Stradivarius-Geige 1707.

die Eigenschaften, die gute Geigen vor anderen auszeichnen, dadurch zu gewinnen, daß die Klänge von 14 gut erhaltenen alten italienischen Geigen von anerkannter Klangschönheit und hohem Wert im Vergleich zu einigen modernen Geigen, darunter auch minderwertigen Fabrikgeigen, systematisch in der geschilderten Weise untersucht wurden. Es haben sich dabei folgende Resultate ergeben: Die Lage der tieferen Resonanzen ist bei den einzelnen Instrumenten verschieden, ohne aber für ihre Klangschönheit von Bedeutung zu sein. Dagegen zeigt es sich, daß für Tragfähigkeit und Schönheit des Klanges die Resonanz bei 3000 Hertz von großer Bedeutung ist. Je besser das Instrument beurteilt wird, um so stärker ist diese Resonanz und im allgemeinen auch um so höher. Das erscheint auch durchaus plausibel, wenn man folgendes bedenkt: Die Gegend 3000—4000 Hertz ist charakteristisch für den Formanten des Vokals „i", um 2500 Hertz liegt das Formantgebiet des „e" und um 2000 Hertz das des „ä". Eine starke Resonanz oberhalb von 3000 gibt also dem Klange einen hellen, strahlenden Klangcharakter. Liegt dagegen eine Resonanz zwischen 2000 und 3000 Hertz, was man bei minderwertigen Geigen gelegentlich findet, so wird der Klangcharakter etwas mehr näselnd sein. Auch die hohe „Tragfähigkeit" des Klanges guter Geigen wird dadurch erklärt, wenn man berücksichtigt, daß die Eigenresonanz des menschlichen Gehörganges etwa bei 3000 Hertz liegt. Diese Ergebnisse findet man für vier Geigen verschiedener Güte in der Fig. 8 zusammengestellt. Darin ist Geige Nr. 1 ein sehr wertvolles, hervorragend erhaltenes Instrument von ANTONIUS STRADIVARIUS aus dem Jahre 1707; Nr. 2 ist eine Storioni-Geige, ein italienisches Instrument aus der nachklassischen Zeit, vom Ausgang des 18. Jahrhunderts; Nr. 3 ist eine gute, moderne Meistergeige, Nr. 4 eine minderwertige Fabrikgeige. Zu dem Bilde ist zu sagen, daß die Dreiecke die Lage der gefundenen Resonanzgebiete andeuten sollen. Die Größe der Dreiecke soll hierbei weniger die Stärke der Resonanzen quantitativ wiedergeben, denn darüber ist ja nach der benutzten Methode schwer etwas auszusagen, als die Sicherheit, mit der sie festzustellen waren.

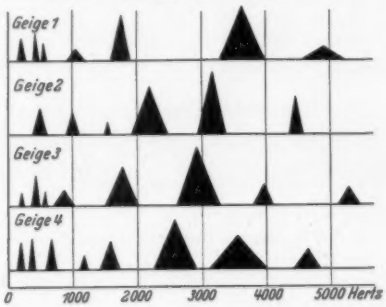


Fig. 8. Resonanzgebiete verschiedener Geigen.

Einige Besonderheiten, die bei diesen Klangaufnahmen beobachtet wurden, seien noch erwähnt: HEWLETT[1] fand, daß bei guten Violinen auf den tiefsten Teilton mehr Energie entfällt als bei den schlechten. Diese Tatsache wurde bei den vorliegenden Untersuchungen bestätigt gefunden. Es ist augenscheinlich erwünscht, daß, um einen angenehmen Klangeindruck hervorzurufen, der Klang vom Grundton beherrscht ist. Ist irgendein anderer Teilton stärker als der Grundton, so wird der Klang schärfer und weniger angenehm. Es zeigte sich nun, daß es bei minderwertigen Geigen auf den meisten Tönen schwer, wenn nicht unmöglich ist, einen Klang zu erzeugen, bei dem der Grundton vorherrscht. Aber auch die besten und wertvollsten Geigen zeigen bei bestimmten Tönen solche Defekte. Das liegt allerdings häufig am Saitenmaterial. Die beiden Fig. 9 und 10 zeigen den Klang der leeren e-Saite, 660 Hertz, auf der erwähnten Storioni-Geige, gespielt beide Male von derselben Person; der Unterschied war nur der, daß in Fig. 9 eine Stahlsaite, in Fig. 10 eine Darmsaite benutzt wurde. Die Reibungsbedingungen zwischen Bogen und Saite sind bei einer Stahlsaite augenscheinlich ungünstiger als bei einer Darmsaite, so daß der verfügbare Bogendruck nicht aus-

[1] C. W. HEWLETT, Physic. Rev. 35, 359 (1912).

reicht, um die erwünschte Verteilung der Teiltöne im Klange zu erzeugen. Es ist ja auch bekannt, daß der Klang von Stahlsaiten schärfer und weniger angenehm ist als der von Darmsaiten.

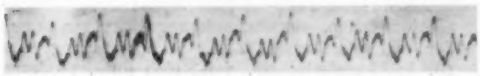
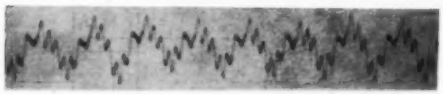


Fig. 9. Klang e_2, e-Saite (Metall), 660 Hz. Storioni-Geige.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	Partialton
0,67	1,00	0,47	0,45	0,46	0,13	0,30	0,07	0,05	0,10	0,06	Amplitude

Ein zweites Beispiel für den Einfluß des Saitenmaterials geben die Fig. 11 und 12. In beiden Fällen wurde g_1, 392 Hertz, auf der d-Saite der mehrfach erwähnten Stradivarius-Geige gespielt. Der Unterschied bestand darin, daß bei der Aufnahme Fig. 11 eine mit Silberdraht umsponnene d-Saite benutzt wurde, während in Fig. 12 eine



1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	Partialton
1,00	0,34	0,18	0,32	0,12	0,09	0,29	0,12	0,07	0,08	0,08	Amplitude

Fig. 10. Klang e_2, e-Saite (Darm), 660 Hz. Storioni-Geige.

gewöhnliche Darmsaite Verwendung fand. Mit der umsponnenen Saite war es, wie mehrere Aufnahmen desselben Klanges zeigen, nicht möglich, die normale Teiltonverteilung mit vorherrschendem Grundton zu erhalten; in Fig. 11 herrscht der 5. Teilton vor. Bei der Darmsaite gelang die Erzeugung des gewünschten Klanges mühelos. Der Grundton herrscht bei dieser durchgehenden Aufnahme

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
0,60	0,68	0,34	0,61	1,00	0,56	0,19	0,41	0,16	0,07	0,14	0,03	0,03

14.	15.	Partialton
0,06	0,08	Amplitude

Fig. 11. Klang g_1, d-Saite (umsponnen), 392 Hz. Antonius-Stradivarius-Geige 1707.

zwar nicht überall vor, wie denn überhaupt die Aufnahme zeigt, daß trotz des Bestrebens, jede Unregelmäßigkeit, wie vibrato oder dergleichen, zu vermeiden, doch die Klangfarbe nicht während des ganzen Bogenstrichs streng gleichmäßig zu erhalten ist; aber im wesentlichen ist doch die normale Teiltonverteilung in Fig. 12 erreicht.

Die Erklärung für den auffallenden Unterschied liegt in der Tatsache, daß nach RAMAN[1] der notwendige Bogendruck mit der 4. Potenz des Saitendurchmessers anwächst, wenn Saitenlänge und Tonhöhe konstant gehalten werden. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, daß das Material der Saite dasselbe bleibt, was in unserem Fall nicht zutrifft. Jedenfalls muß man wohl annehmen, daß der verfügbare Bogendruck im Fall der Fig. 11 nicht ausgereicht hat, um auf der besponnenen Saite den HELMHOLTZschen Schwingungstypus mit genügender Annäherung zu erreichen.

Nun ist es aber auffallend, daß diese Erscheinung auf das g_1, 392 Hertz, beschränkt bleibt; denn bei den benachbarten Tönen ist nichts davon zu bemerken, wie z. B. Fig. 7 zeigt, die fis_1 370 Hertz gespielt auf der gleichen Geige, auf der gleichen umsponnenen d-Saite darstellt. Dieser Befund deutet darauf hin, daß der Geigenkörper bei der Frequenz 392 Hertz eine Resonanz hat, so daß wie oben erwähnt, der erforderliche Bogendruck an dieser Stelle ein Maximum wird. Die Fig. 12 läßt eigentlich, obwohl der Grundton fast überall vorherrschend ist, nicht auf eine Resonanz bei diesem Grundton schließen. Das hat augenscheinlich den Grund, daß ein Teil der Schwingungsenergie des Grundtons nicht abgestrahlt wird, sondern dazu dient, die freie g-Saite in ihrer zweiten Teilschwingung zu erregen. Das Beispiel zeigt, daß bei der Untersuchung der Klänge Resonanzen des Instrumentes leicht durch irgendwelche anderen Erscheinungen, von denen außer der hier erwähnten vor allem auch noch die Richtwirkung der Strahlung im Schallfeld zu nennen ist, verdeckt oder vorgetäuscht werden. Die Untersuchung der Instrumente allein durch Klangaufnahmen ist daher nicht nur mühsam und zeitraubend, weil von den gewonnenen Aufnahmen lange nicht alle zur Auswertung herangezogen werden dürfen, sondern sie kann auch leicht zu Fehlschlüssen führen. Man wird sich daher nach einer anderweitigen Vervollständigung dieser Untersuchungen umsehen müssen. Es soll davon weiter unten die Rede sein.

Vorher aber sei hier noch ein merkwürdiger Vorgang erwähnt, der sich allerdings bei der Geige seltener als beim Cello findet, der sog. Wolfston oder Bullerton. Bei manchen Instrumenten kann man bestimmte Töne überhaupt nicht in stabiler Weise erzeugen. Der entstehende Klang ändert sich periodisch etwa 8—10mal in der Sekunde, so daß subjektiv ein Klangeindruck wie der eines „r" entsteht. Eine Erklärung dieser Erscheinung stammt gleichfalls von RAMAN[2]. Hiernach liegt beim Grundton des betreffenden Klanges eine Resonanz des Instrumentkörpers vor, und zwar muß es eine solche sein, die sich in einer Bewegung des Steges und seiner unmittelbaren Umgebung bemerkbar macht. Bei der Geige ist dies, wie die Beobachtungen zeigen, die Resonanz in Gegend zwischen 450 und 500 Hertz. Der zur Erzeugung

[1] C. V. RAMAN, Ind. Assoc. Sci. Bull. **15**, 141 (1918).
[2] C. V. RAMAN, Philosophic. Mag. **32**, 391 (1916).

des HELMHOLTZschen Schwingungstyps erforderliche Bogendruck ist dann ein Maximum. Beim Beginn der Klangerzeugung steht dieser Bogendruck zur Verfügung. Nun wird aber die Resonanz des Körpers erregt, der Grundton wird stark abgestrahlt, und die nunmehr für den Grundton erforderliche Energie vermag der Bogen nicht mehr nachzuliefern. Die Schwingungsform der Saite schlägt dann in einen höheren Typus über, bei dem der Grundton an Bedeutung zurücktritt. Jetzt ist nun aber der Bogendruck wieder ausreichend zur Erzeugung des HELMHOLTZschen Schwingungstyps, dieser stellt sich auf der Saite wieder her, und das Spiel beginnt von neuem. Da, wie wir oben gesehen haben, der erforderliche Bogendruck schnell mit der Dicke der Saite zunimmt, ist es verständlich, daß man diese Erscheinung vorzugsweise auf den dicken Saiten, bei der Geige nur auf der g-Saite, beobachtet. Fig. 13 gibt als Beispiel dafür das Klangbild eines solchen Wolfstones. Es handelt sich um das b_1, 466 Hertz, gespielt auf der g-Saite einer Testori-Geige. Man erkennt deutlich, daß auch der Klang periodisch seine Konfiguration ändert, daß der Grundton zeitweise überhaupt nicht merkbar ist, daß aber an den nicht gestörten Stellen die Klangkurve nahezu sinusförmig ist, was die Annahme einer starken Resonanz beim Grundton bestätigt. Dasselbe erkennt man übrigens aus der Fig. 19, die den Klang des b, 233 Hertz, auf derselben Geige darstellt.

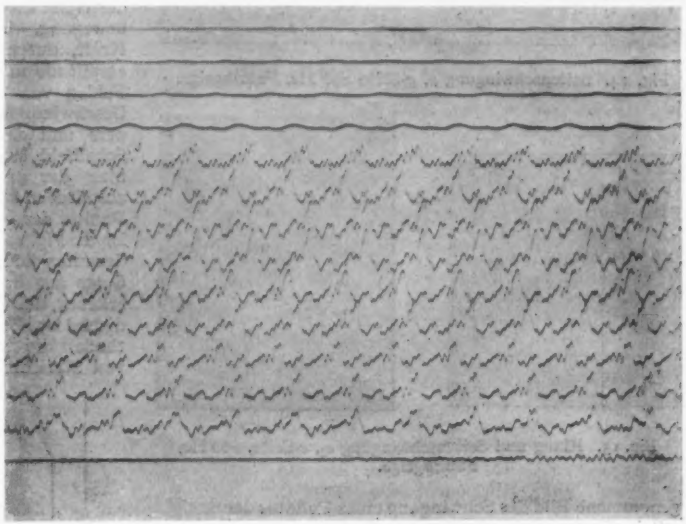


Fig. 12. Klang g_1, *d*-Saite (Darm), 392 Hz, Antonius Stradivarius-Geige 1707.

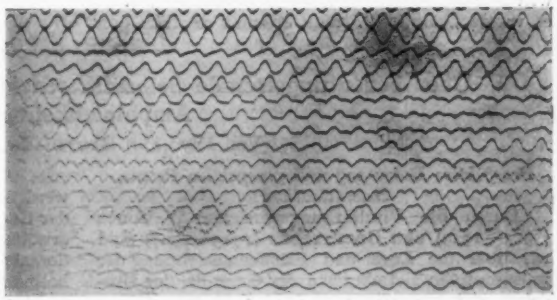


Fig. 13. Klang f_1, *g*-Saite, 466 Hz, Wolfston. Testori-Geige.

Um bei der Ermittlung der Resonanzen eines Streichinstrumentes die durch Verschiedenheiten der Schwingungsform der Saite bedingten Schwierigkeiten und Fehlerquellen zu vermeiden, muß man gleichzeitig mit dem resultierenden Klang auch den Verlauf der ihn erregenden Kraft aufzeichnen. Das geschieht am besten durch Beobachtung des Verlaufs der Kraft, die von der Saite auf den Steg ausgeübt wird. Wir hatten oben gesehen, daß diese Kraft proportional ist dem Winkel, den die Saite am Steg mit ihrer Ruhelage bildet. Wenn man also die Bewegung eines Saitenpunktes in möglichst geringem Abstand vom Steg aufzeichnet, so wird man dadurch solange ein hinreichend angenähertes Bild des Kraftverlaufes erhalten, wie der Abstand des beobachteten Punktes klein genug im Vergleich zur Wellenlänge auf der Saite bleibt. Für die Aufzeichnung der Bewegung des Saitenpunktes wurde nach einer Methode verfahren, die der von KRIGAR-MENZEL und RAPS[1] angegebenen ähnlich ist. Das Bild eines Lichtspaltes wurde senkrecht zu der Saite auf einen kleinen Spiegel projiziert, so daß der zu untersuchende Saitenpunkt als Schatten in dem Schlitzbild erschien. Dieses Schlitzbild wurde dann mittels vergrößernder Objektive, was besonders bei den dünnen Saiten

[1] O. KRIGAR-MENZEL und A. RAPS, Berl. Ber. **1891**, 193; Wied. Ann. **44**, 623 (1891).

nötig war, und unter Zwischenschaltung einer Zylinderlinse auf der bereits erwähnten Registriertrommel photographiert. Fig. 14 zeigt das so aufgenommene Bild der Schwingung eines Punktes der g-Saite in der Nähe des Steges. In der untersten Reihe liegt die normale Schwingungsform vor. Besonderes Interesse verdient die Reihe darüber, weil hier der Bogendruck unzureichend war, d. h. es wurde „gekratzt". Man erkennt deutlich den zweiten Schwingungstyp. Fig. 15 stellt die gleichzeitige Aufnahme von Saitenbewegung und Klang der freien Stahl-e-Saite auf der Geige Nr. 4 der Fig. 8 dar. Der HELMHOLTZsche Schwingungstypus ist im wesentlichen gewahrt, man erkennt aber deutlich die kleinen Abweichungen davon. Das Bild wurde in der Weise ausgewertet, daß aus der Saitenbewegung, d. h. aus der eingeprägten Kraft, durch Multiplikation jeder Teilamplitude mit der Ordnungszahl die beim Fehlen von Resonanzen zu erwartende Geschwindigkeitsamplitude des Geigenkörpers und damit die Druckamplitude im Schallfeld ermittelt wurde. Die Verhältnisse der aufgenommenen Schall-Druckamplituden zu den so errechneten ergeben Punkte der gesuchten Resonanzkurve. Sie ist in Fig. 16 eingetragen. Gleichzeitig ist darunter die Lage der Resonanzen für diese Geige aus der Fig. 8 aufgezeichnet. Man erkennt, daß die Übereinstimmung befriedigend ist. Es gelingt also mit dieser Methode, die höher gelegenen Resonanzen von Streichinstrumenten zu ermitteln.

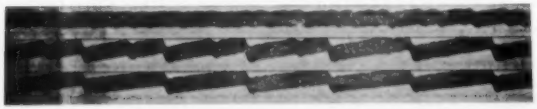


Fig. 14. Saitenschwingung *g*, *g*-Saite 196 Hz, Fabrikgeige.

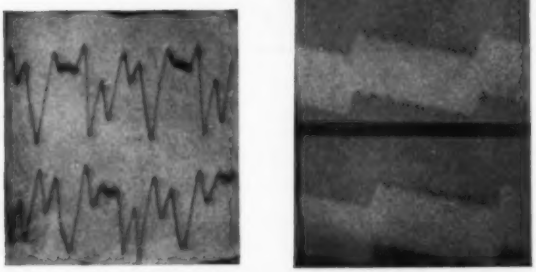


Fig. 15. Klang und Saitenschwingung e_2, *e*-Saite, 660 Hz, Fabrikgeige.

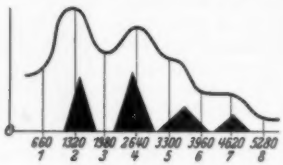


Fig. 16.
Resonanzen der Fabrikgeige nach Fig. 15 und 8.

(Schluß folgt.)

Über bedeutungsfremde Selbstdifferenzierung aus Teilstücken des Amphibienkeimes[1].

Von HERMANN BAUTZMANN, München.

Prospektive Bedeutung und prospektive Potenz, Determination.

Durch die Vitalfärbungsversuche W. VOGTS (1923—1929) und GOERTTLERS (1925—1927) sind wir über die Lage und Flächenausdehnung der präsumptiven Keimbezirke der Gastrula der Urodelen und neuerdings auch der Anuren (VOGT 1929) gut orientiert. So wissen wir (Fig. 1), daß das Material, aus welchem später Chorda, Ursegmente, Seitenplatten und Vornieren hervorgehen — die Randzone — etwa in der Form eines Siegelringes um die Gastrula herumgreift. Dieser Ring besitzt seine größte Ausdehnung in jenem Keimquadranten, welcher dorsal auf der ersten Urmundeinsenkung aufsitzt, während der spangenförmige Teil — die laterale und ventrale Randzone — beiderseits schräg abwärts in ein allmählich schmaler werdendes Band übergeht, welches sich mit dem der Gegenseite zum Ring vereinigt. Dorsal an den erwähnten Chordamesodermquadranten — die dorsale Randzone — angrenzend, liegt ein etwa halbmondförmiger Bezirk, der seine größte Breite in der Mediane hat und mit den Sichelenden seitlich ventralwärts bis unter den Äquator hinabreicht. Aus diesem Material, dem präsumptiven Medullarbereich, bildet sich die Medullarplatte dadurch, daß sich der median gelegene Teil in seinem hinteren Abschnitt streckt und gleichzeitig die seitlichen Anteile nach der Mitte zu einschwenken. Das Vorderende der Medullarplatte wird wesentlich aus jenem vorderen medianen Medullarbezirk gebildet, der im animalen Polfeld liegen bleibt. Der animale Pol selbst liegt später im queren Hirnwulst der Medullarplatte (Urodelen) und bezeichnet damit annähernd die Grenze

[1] Erweiterte Fassung eines Vortrages, gehalten in der Gesellschaft für Morphologie und Physiologie in München, am 16. Juli 1929.

gegen die präsumptive Epidermis. Die Haut wird aus jenem Bezirk der Gastrula, der an die vordere Seite des Medullarhalbmondes angeschlossen liegt und den Raum zwischen ihm und der ventralen Randzone ausfüllt. Die nähere und weitere Umgebung des vegetativen Pols liefert das gesamte entodermale Material für den Aufbau des Darmsystems. Dessen erste Entwicklung geht vom Urmund, der Invaginationsgrube, aus, welche etwas ventral vom Chordamesodermbereich median im präsumptiven Entoderm entsteht, und die später mit ihrer nächsten Umgebung in die Bildung des Kopfdarms und der Kiemen eingeht.

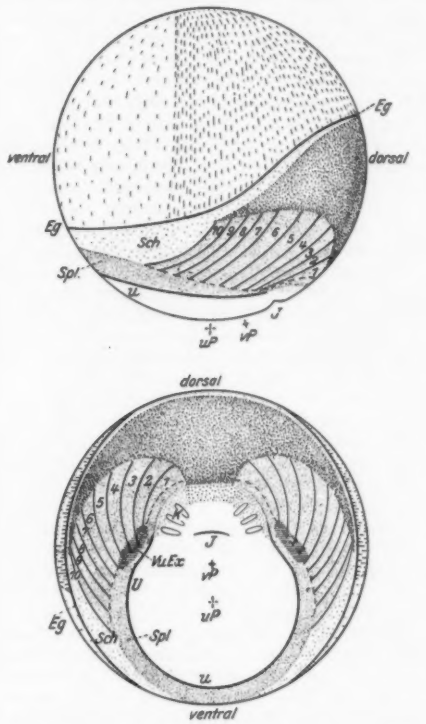


Fig. 1. Schema der Topographie der präsumptiven Organanlagen von Urodelen (Triton alp. und Pleurodeles) bei Gastrulationsbeginn. *J* = Invaginationsgrube, *U* = spätere Urmundrinne, *Eg* = Einstülpungsgrenze, *vP* = vegetativer Pol, *uP* = unterer Pol dieses Stadiums. — Medullaranlage dicht gestrichelt; Hautektoderm weit gestrichelt; Chorda dicht punktiert; Mesoderm fein punktiert. Das erst nach Blastoporusschluß einwandernde Material hell punktiert. *Sch* = Hauptmasse des Schwanzknospenmaterials, *K* = Kiemenento- und -mesoderm. Ziffer *1—10* = Ursegmente. *Spl* = Seitenplatte. Schraffierter Bezirk am 2. bis 5. Ursegment = Material der Vorniere und des Mesoderms der vorderen Extremität (*V. u. Ex.*). (Aus VOGT, Anat. Anz. 61 [1926].)

Durch die Schnürungs- und Transplantationsexperimente SPEMANNS (1901—1928) sind wir darüber unterrichtet, daß das Gebiet oberhalb des Urmundes eine bevorzugte Stellung in der Entwicklung des Eies einnimmt. Es besitzt im Gastrulastadium einige Eigenschaften, die den übrigen Keimteilen im gleichen Stadium abgehen. Transplantiert man ein Stück aus dem mittleren Urmundgebiet einer Gastrula ins Bauchektoderm einer zweiten, so vermag es sich dort einzustülpen; dabei gerät es ins Mesoderm und unter das Ektoderm. Am neuen Ort differenziert es sich (mit gewissen Einschränkungen, s. später) zu dem aus, was es im normalen Keimzusammenhang geliefert hätte (*Selbstdifferenzierung*). Es bewirkt ferner im nachbarlichen Mesoderm die Entwicklung von Ursegmenten und anderem, z. B. aus Material, welches sonst Seitenplatten geliefert hätte; und im über ihm liegenden Ektoderm vermag es die Entwicklung einer neuen Medullarplatte anzuregen, zu *induzieren*, obgleich daraus sonst Bauchhaut geworden wäre. Mit Hilfe dieser Induktionsfähigkeit vermag ein solches Stück, die prospektive Bedeutung seiner Umgebung völlig verwandelnd, planvoll in dem Sinne zu wirken, daß eine in günstigen Fällen fast vollkommene, neue, sekundäre Embryonalanlage entsteht, in die es selbst in harmonischer Weise eingefügt ist. Dieser *organisierenden* Fähigkeiten halber nannte SPEMANN den Keimbereich, in dem diese beisammenliegen, das *Organisationszentrum* und seine Teilstücke *Organisatoren*.

Da anderen Keimgebieten der Gastrula die erwähnten Sondereigenschaften fehlen, ließ sich das Organisationszentrum begrenzen (BAUTZMANN 1926). Es füllt den hinteren dorsalen Keimquadranten aus und reicht beiderseits noch in die ventrolateralen Gebiete hinein (= dorsale und laterale Randzone = Chordamyotombereich der Fig. 1). Ob es sich im gleichen Stadium auch noch ins Seitenplatten- und Schwanzknospenmaterial hineinerstreckt, steht noch nicht fest, scheint aber nicht der Fall zu sein.

Auch Randzonenmaterial der Blastula vermag schon zu induzieren. Aus Schnürungsversuchen SPEMANNS am Ei und am Zweizellenstadium (1901 bis 1903) geht hervor, daß ein mit jenen Sondereigenschaften ausgestatteter Bereich in der Dorsalhälfte des Eies liegt. SPEMANN vermutet, daß die Entstehung des Organisationszentrums mit der Bildung des grauen Halbmondes des befruchteten Eies zusammenhängt, dessen prospektive Bedeutung nach Vitalfärbungsversuchen VOGTS und BANKIS dorsales und laterales Urmundgebiet umfaßt, also dem Organisationszentrum des Gastrula entspricht. Keimverschmelzungsversuche, bei denen durch Auseinanderweichen der Zellen hantelförmig gewordene Zweizellenstadien, kreuzweise übereinandergelegt, verschmolzen wurden, ergaben Resultate, die sich am besten unter der Annahme erklären ließen, daß das Organisationszentrum schon im Zweizellenstadium etwa in der Aus-

dehnung fest lokalisiert ist, welche es in der Gastrula besitzt ((O. MANGOLD 1920, O. MANGOLD und F. SEIDEL 1927).

Wir ersehen u. a. aus diesen Versuchen, daß das Organisationszentrum, von seiner Induktions- und seiner Organisationsfähigkeit abgesehen, als Organanlage für Chorda und Mesoderm seine prospektive Bedeutung zu erfüllen strebt. Die heteroplastisch ausgeführten Organisatorversuche von SPEMANN und HILDE MANGOLD (1924) zeigten denn auch im einzelnen, daß die Transplantate sich zu Chorda und Mesoderm entwickelten.

Wir bezeichnen Organanlagen eines bestimmten Entwicklungsstadiums als *determiniert*, wenn in dem betreffenden Stadium ihr Schicksal eindeutig und unwiderruflich festgelegt ist. Sie vermögen sich dann unabhängig unter Selbstdifferenzierung zu entwickeln. In *einem allgemeinen Sinn* ist der Organisatorbereich der Gastrula *als ganzer* determiniert, denn er liefert im Transplantationsversuch (SPEMANN und HILDE MANGOLD) und auch im Interplantat (HOLTFRETER 1929, KUSCHE 1929) im ganzen nur das, was seiner prospektiven Bedeutung entspricht. Ob das gleiche Verhalten im Isolierungsversuch auch für die den Organisator zusammensetzenden Teilanlagen als einzelne gilt, ist eine Frage, die sich wegen des nahen Beieinanderliegens der Teilbezirke technisch noch nicht einwandfrei lösen ließ; im Zusammenhang innerhalb des ganzen Keimes kann aus präsumptivem Mesoderm Medullarplatte werden, wenn die Einstülpung weniger weit geht als normal (VOGT 1922, SPEMANN und RUUD 1922).

Wir können also vom Organisatorbereich der Gastrula als Anlagenbezirk, wenn wir allein seine Differenzierungsfähigkeit ins Auge fassen, kurz sagen, seine prospektive Potenz sei gleich seiner prospektiven Bedeutung.

Die Frage nach der *Determination der übrigen Organanlagengebiete* im gleichen Zeitpunkt der Entwicklung wurde zuerst von SPEMANN vermittels das Austauschexperimentes (1918) zu lösen versucht. SPEMANN tauschte präsumptives Ektoderm der Gastrula gegen präsumptive Medullarplatte. Es ergab sich, daß die Anlagenstücke sich voll vertreten können. Ein Stück, aus dem Hirn geworden wäre, wurde im Ektodermbereich zu Haut, und umgekehrt. Das Schicksal der beiden Bezirke ist also nicht unwiderruflich bestimmt, nicht endgültig determiniert. SPEMANN spricht daher von „relativ indifferent" oder „umdifferenzierungsfähig", womit die Möglichkeit gegeben ist, daß die geprüften Organanlagenstücke sich im Gastrulastadium vielleicht im Beginn einer *Determinationsphase* befinden. Man kann sie nicht schlechterdings undeterminiert oder indifferent nennen, sondern muß das Vorhandensein einer noch umstoßbaren *labilen Determination* erwägen.

VOGT und GOERTTLER haben die Frage nach der *Prädetermination* (GOERTTLER), *Bahnung* (VOGT), *Institution* (GRÄPER) der Lösung näher gebracht. Aus Defekt- und Transplantationsversuchen VOGTS (zusammengefaßt 1928) und GOERTTLERS (1927) sowie auch LEHMANNS (1926–1928) geht hervor, daß im präsumptiven Medullarmaterial ein *gewisser Grad von Determination* im Blastulastadium schon nachweisbar ist. GOERTTLER verpflanzte präsumptives Medullarmaterial der Blastula in die Seite einer Neurula, wo er vorher ein Stück des seitlichen Ektoderms mit dem darunterliegenden Mesoderm entfernt hatte. Das präsumptive Medullarmaterial entwickelte sich in seiner neuen Umgebung dann zu Medullarmaterial, wenn die Implantierungsrichtung so gewählt worden war, daß die Umgebung die dem Stück herkunftsgemäß eigenen Gestaltungsbestrebungen nicht unterdrückte, sondern eher förderte; anderenfalls blieb es nach GOERTTLER undifferenziert.

GOERTTLERS Experiment zeigt zunächst, daß präsumptives Medullarmaterial an *eigenen, in ihm selbst liegenden Fähigkeiten* die Potenz zur Bildung von Medullarmaterial besitzt. Man würde daraus schließen, seine prospektive Potenz sei gleich seiner prospektiven Bedeutung, wenn nicht aus SPEMANNS Austauschversuch hervorginge, daß sie *größer* ist, denn es konnte ja hier, sogar in einem etwas älteren Entwicklungsstadium, aus dem gleichen Material noch Haut werden.

Die beiden Experimente scheinen also auf die Frage nach der Beziehung von prospektiver Bedeutung zu prospektiver Potenz eine verschiedene Antwort zu geben. Diese Differenz wird irgendwie in den näheren Bedingungen der Versuche begründet sein, die sich tatsächlich in einem Punkt wesentlich unterscheiden: in SPEMANNS Austauschversuch sind induktive Einflüsse seitens des Organisators nicht ausgeschaltet. GOERTTLER hingegen wählte seine Versuchsbedingungen mit voller Absicht so, daß induzierende Kräfte als Faktoren nach der Implantation ausscheiden sollten (Entfernung des vielleicht noch induktionsbefähigten Mesoderms in der Seite der Neurula, bevor implantiert wurde).

Wir müssen, um die Ergebnisse der erwähnten und der noch zu schildernden Versuche auf einen gemeinsamen Nenner bringen zu können, den Potenzbegriff zu zerlegen versuchen. Die Berücksichtigung des Fehlens oder Mitspielens induktiver Einflüsse bei der Realisierung der Potenzen könnte uns eine Handhabe in dieser Richtung bieten. Allerdings wissen wir nicht, ob das im GOERTTLERschen Experiment im präsumptiven Medullarmaterial aufgefundene Vermögen zur Differenzierung von Medullarmaterial nicht schon vor der Herausnahme des Materials induziert wurde (Nachbarschaft des Organisators!, SPEMANN 1927), oder ob die im Stück liegende Fähigkeit ab ovo im präsumptiven Medullarmaterial autogen entstand, also, mit anderen Worten, ob es sich um eine abhängig oder unabhängig entstandene Potenz handelt, die hier in Erscheinung tritt. Da aber jedenfalls der Begriff Potenz in der herkömmlichen Form *für unsere Darstellung* zu weit ist, und, wie wir sahen, verschieden ausgeführte Versuche auf die Frage nach dem Potenzenschatz

eines Keimbezirks mit bekannter prospektiver Bedeutung unterschiedliche Antworten geben, wollen wir, um zu einer *vorläufigen* praktischen Lösung zu kommen, von *passiven* Potenzen sprechen, wenn im Experiment ihre Realisierung im zu prüfenden Stück unter induktiven Einflüssen geschieht. Passive Potenzen sind also die Möglichkeiten, die in einem Stück *realisiert werden* können, wenn es am neuen Ort in eine neue Konstellation von Bedingungen gerät. Als *aktive* Potenzen wollen wir die *sich selbst realisierenden* Möglichkeiten bezeichnen, die sich *in der Isolierung* bei Ausschluß von induzierenden Kräften im geprüften Stück verwirklichen.

Der SPEMANNsche Austauschversuch würde besagen: präsumptives Medullarmaterial hat die passive Potenz zu Medullarmaterial und Haut. O. MANGOLDS Transplantationsversuche zur Spezifität der Keimblätter (1923) zeigen, daß das gleiche Material noch weitere passive Potenzen, nämlich zu Vorniere, Myotomen usf. besitzt. GOERTTLERS Experiment sagt über die passive Potenz nichts aus, wohl aber zeigt es, daß die aktive Potenz des gleichen Materials auf Medullarmaterial lautet.

Unbeantwortet bleibt für diesen letzten Fall, wie gesagt, vorerst die Frage, ob die aktive Potenz, die hier der prospektiven Bedeutung des transplantierten Keimteils entspricht, eine primär unabhängige ist, denn sie könnte sehr wohl *vor* der Transplantation unter induktiven Wirkungen, also auf dem Wege abhängiger Entwicklung, aktiviert worden sein. Die Begriffe aktive und passive Potenz, die sich einander gegenüberstehen wie die Betrachtungsweisen der Entwicklung unter dem Gesichtspunkt von *Präformation* einerseits und *Epigenese* andererseits, haben also einen Sinn nur, soweit man sie auf ein bestimmtes Entwicklungsstadium anwendet. Es steht im speziellen mit den Zeichen für aktive Potenzen nicht viel anders, als es im allgemeinen mit den Nachweisen für Präformation überhaupt steht: man muß immer daran denken, daß sie ursprünglich epigenetisch entstanden sein können, wenn wir auch noch der experimentellen Nachweise für einen solchen Einwand bedürfen.

Bedeutungsfremde „Selbstdifferenzierung".

Eine Frage, die von der Art und Weise der Aktivierung der Potenzen — ob unabhängig oder abhängig — zunächst absieht, ist die, ob in einem Keimbezirk mit bekannter prospektiver Bedeutung primär nur die jeweils dieser Bedeutung entsprechende Verwirklichungstendenz besteht, oder ob es auch *bedeutungsfremde* Selbstdifferenzierung gibt. Zur Klärung dieser Frage liegt bereits ein größeres Material aus neueren Versuchen vor, die nunmehr zu erörtern sind. Um kurz zu wiederholen, gemeint ist: Gibt es (im Blastula- und Gastrulastadium) *Eigen*differenzierung eines Keimbezirkes zu noch anderen Organen, als seiner prospektiven Bedeutung entspricht; vor allem, gibt es solche bedeutungsfremde Differenzierungen unter Ausschluß der Aktivierung solcher Mehrpotenzen durch Induktion mittels Organisatoren, wie sie im Austauschversuch vorliegen dürfte (wie auch in den Transplantationsversuchen von O. MANGOLD 1923 und meist auch in den Versuchen über ins Gastrocoel gebrachtes, präsumptives Gastrulaektoderm von BYTINSKY-SALZ 1929).

Die experimentellen Mittel, an diese Frage heranzugehen, bestehen in einer *weitergehenden* Isolation der zu prüfenden Keimabschnitte, als sie jene Transplantationsexperimente verbürgen. Einen solchen Weg beschritt, nachdem früher von GEINITZ (1921, 1922) und MANGOLD (1924, 1927) *Züchtungen „in vitro"* vergeblich versucht worden waren (MANGOLD 1928), zunächst HOLTFRETER (1925), dann DÜRKEN (1925/26) in Form einer *„in vivo" Kultur*. DÜRKEN brachte große Teile der animalen Keimhälfte, u. a. der Blastula und der Gastrula, in die ausgeräumte Augenhöhle (Orbita) älterer Amphibienlarven. Er wollte untersuchen, was aus diesen Gebieten würde, wenn sie nicht unter der Einwirkung des Urmundrandes gestanden hätten und sich ohne normale Gastrulation entwickeln würden. So interessante Ergebnisse seine Versuche erbrachten — es entwickelte sich nämlich aus dem Material u. a. Knochen, Knorpel, Chorda, Muskulatur, Nervengewebe und Drüsen —, sie vermögen die oben gestellte Frage nicht eindeutig zu beantworten, weil DÜRKEN ein für exakte Entnahme wenig geeignetes Objekt (Rana fusca) verwendete, so daß er nicht sicher sein konnte, induktionsbefähigtes Organisatormaterial nicht miterfaßt zu haben; ferner verknüpfte DÜRKEN die Frage nach der Selbstdifferenzierung mit einer anderen: Zur Prüfung der COHNHEIMschen Geschwulsttheorie, nach welcher Geschwülste aus strukturarm gebliebenen embryonalen Zellen oder Zellgruppen hervorgehen sollen, dislozierte er das Material, ehe er es in die Augenhöhle einbrachte. DÜRKENS Versuche wurden zum Teil mittels seiner eigenen, zum Teil mit prinzipiell ähnlichen Methoden an geeigneteren Objekten wieder aufgenommen, und zwar fast gleichzeitig von HOLTFRETER, KUSCHE und mir. Nachdem HOLTFRETER (1925) den Determinationszustand *vegetativen* Materials mittels *„Interplantation"* in die Leibeshöhle untersucht hatte, teilt er jetzt (1929) auch Versuche mit, die sich auf die Isolation von *animalen* Gastrulateilen erstrecken. Ich möchte auf diese Versuche hier nicht näher eingehen, die, zunächst vorwiegend methodisch bearbeitet, zu der oben gestellten Frage, soweit ich sehe, noch keinen Beitrag geliefert haben.

Dagegen bestimmen mich die eben in einer Arbeit KUSCHES (1929) bekannt werdenden Resultate (s. dessen Autoreferat, Naturwiss. **17**, H. 27), hier eigene Versuche aus der Laichzeit 1926 (**1928**, S. 193 kurz erwähnt) mitzuteilen, die noch nicht beendet sind und deren ausführliche Publikation ich auf später verschieben muß.

KUSCHES und mein Vorgehen lehnt sich technisch eng an das von DÜRKEN an, welches er 1926

genau beschrieb. Ich vermied Rana fusca als Entnahmekeim und benutzte, wie auch KUSCHE, Tritonblastulae und Gastrulae, die bis zum Moment der Operation im Dotterhäutchen blieben. Bei diesen Keimen kann man im Gegensatz zu Rana fusca leicht kleine umschriebene Bezirke aus jeder gewünschten Keimregion mit ausreichender Genauigkeit entnehmen. Ich „interplantierte" nach DÜRKEN in den leeren Augenraum, benutzte aber, abweichend von DÜRKEN, als Wirte vorjährige Larven von Triton taeniatus, die im Freien gefangen worden waren und noch vor der Metamorphose standen. In einigen Fällen kombinierte ich die Entnahme mit vorhergehender Vitalmarkierung nach VOGT.

Fig. 2. Experiment v. 30. IV. 1926. 320. Querschnitt durch die operierte Augenregion der Triton-Wirtslarve. Das Interplantat entstammt dem medianen Grenzbereich von präsumptivem Medullarmaterial zu präsumptivem Ektoderm (animales Polfeld) einer beginnenden Gastrula von Triton alpestris.

Hier beschränke ich mich auf die kurze Beschreibung der Potenzprüfung der engeren Nachbarschaft des animalen Poles.

Experiment vom 30. IV. 1926, 320. — Um sicher zu gehen, nur dieses Material zu erfassen, färbte ich bei Triton alpestris im Vierzellenstadium den Schnittpunkt der beiden ersten Furchungsebenen mittels eines mit Nilblausulfat getränkten Agarplättchens und wartete den *Gastrulationsbeginn* ab. Beim Auftreten des Urmundes fand sich die Marke median etwa auf der *Grenze von präsumptivem Medullarmaterial zu präsumptivem Ektoderm*, also weit entfernt vom Chorda-Mesodermbereich. Der angefärbte Bezirk, etwas größer als 30 × 30° Bogenlänge — vgl. die Gradeinteilung in BAUTZMANN 1926, welche vom Urmund als Nullpunkt ausgehend, den medianen Meridian gleich 360° rechnet —, fand sich etwa zwischen 150 und 180° median. Dort wurde er entnommen und in die ausgeräumte Orbita der vorjährigen Tritonlarve gebracht, wo ich ihn 12 Tage lang beließ. Die mikroskopische Untersuchung ergab, daß das im Augenraum gelegene Implantat sich auf Grund seines Dotterkorngehaltes gut gegen die Umgebung abgrenzt. Wie man aus Fig. 2 erkennt, hat es sich zu histologisch zweifelsfreier *Chorda* und *Muskulatur* entwickelt.

Fig. 3. Experiment v. 11. IV. 1926. 150. Querschnitt durch die operierte Augenregion der Triton-Wirtslarve. Das Interplantat besteht aus animalem Polmaterial einer Triton-Blastula.

Experiment vom 11. IV. 1926, 150. — In diesem Versuch wurde der animale Pol einer *Blastula* in gleicher Weise 14 Tage lang im leeren Augenraum einer vorjährigen Larve gezüchtet. Fig. 3 zeigt, daß das Interplantat im wesentlichen zu gut vakuolisierter *Chorda* geworden ist.

Die beiden hier mitgeteilten Beispiele lassen sich leicht durch eine größere Zahl analoger Fälle ergänzen. Gleichzeitig bekam KUSCHE im Interplantatversuch ganz ähnliche Differenzierungen aus gleichen Keimstücken derselben Spezies, wie auch bei Amblystoma. Ferner sah er Chorda und Muskulatur aus *allen* Bereichen der beginnenden Tritongastrula hervorgehen.

Nach diesen Untersuchungen, bei welchen, was ich noch einmal hervorheben möchte, in den eigenen die Genauigkeit der Entnahme durch vorangehende Vitalmarkierung gesichert wurde,

gibt es also im Interplantatversuch bedeutungsfremde Selbstdifferenzierung; und wir stehen nun vor der nicht leichten Aufgabe, eine Vorstellung davon zu gewinnen, unter welchen Bedingungen eine solche „abwegige" Selbstdifferenzierung einsetzt, und welche Bedeutung dieser Möglichkeit als solcher für die normale Entwicklung zukommen mag. Dabei wird es sich vorläufig nur um Andeutungen handeln.

Daß Blastula- und Gastrulamaterial wohl aller Keimbezirke, auf die verschiedenste Weise geprüft, Selbstdifferenzierungsfähigkeit überhaupt besitzt, kann wohl keinem Zweifel mehr unterliegen (vgl. dazu auch die bisher einer Explantation „in vitro" am nächsten kommenden Züchtungen in Bombinatorhautumhüllung, über die ich — Sitzung vom 11. XII. 1928 der Gesellschaft für Morphologie und Physiologie München — berichtete).

Bei Versuchen mit Bombinatorhautumhüllung habe ich, soweit das Material bearbeitet ist, für *Bombinator* vorläufig keine sicher einwandfreie bedeutungs*fremde* Differenzierung beobachtet. Immerhin schienen mir auch bei diesen Versuchen Andeutungen in dieser Richtung vorzukommen, so daß man die Möglichkeit bedeutungsfremder Selbstdifferenzierung auch für Bombinator im Auge behalten wird.

Zunächst wird die Frage auftauchen: Liegt das Ergebnis der bedeutungs*fremden* Differenzierung aus Tritonmaterial etwa in der *Methode* begründet? Zur Vorsicht sollte man doch noch einmal versuchen, eine „in vitro"-Methode, und zwar möglichst unter Benützung anorganischer Salzlösungen anzuwenden, um ganz unvorherzusehende Wirkungen auszuschließen. Es ist mir jetzt (vgl. **1929**, 7) unwahrscheinlich geworden, daß bei der Methode der Züchtung im Augenraum Faktoren im Spiel sein könnten, die das Resultat *spezifisch* bestimmen könnten. Wenn determinierende Stoffe im Plasma vorhanden sind, so müßten sie schon wahllos, fast in jeder Richtung, wirken, um alle die unterschiedlichen Differenzierungen zu erklären, die aus einem geprüften Keimstück hervorgehen können. Welcher Art solche Stoffe sein sollten, läge gänzlich außerhalb unserer Vorstellungen über stofflich bedingte Entwicklung z. B. unter hormonalen oder enzymatischen Einflüssen. Soweit wir wissen, vermögen Hormone im weitesten Sinne nur, irgendwie präformierte Mechanismen zu fördern oder zu hemmen. Ein einfaches Beispiel ist die Metamorphose, die in einer solchen Weise im positiven oder negativen Sinne hormonal beeinflußbar ist; die Fähigkeit dazu ist aber vorbereitet. Man könnte sich Hormone im Plasma des Augenraumes denken; nimmt man sie einmal als gegeben an, so würden unter ihren Wirkungen Fähigkeiten z. B. zur Entwicklung von Muskulatur und Chorda zwar aktiviert, aber wohl kaum neu geschaffen worden sein. Das wiederum würde die Annahme, daß ein Stück vom animalen Pol *different* ist, nicht nur in Richtung auf Medullarmaterial und Ektoderm, sondern *auch* in Richtung auf Chorda und Muskulatur erst recht nahe legen.

Bedeutungsfremde Selbstdifferenzierung und normale Entwicklung.

Wenn die normale Entwicklung wesentlich unter hormonalen Bedingungen verläuft, so vermögen diese nach der eben erwogenen Ansicht nur bereits fixierte Mechanismen quantitativ zu beeinflussen; und nehmen wir Hormonwirkungen an, so bringt das die weitere Annahme einer Präformation der Mechanismen mit sich, auf Grund deren Organdifferenzierung möglich ist. Eine solche Vorstellung von Präformation muß aber von anderer Art sein, als wir sie gewohnt sind. Nach der *geläufigen Vorstellung von Präformation* differenzieren sich die mosaikartig gelagerten Organanlagen deshalb gemäß ihrer prospektiven Bedeutung, weil jede Anlage von vornherein von sich aus nur das *eine* Ziel kennt, welches eben diese Bedeutung zu verwirklichen bestrebt ist. Die Versuche von KUSCHE sowohl, wie meine eigenen, zeigen im Gegensatz dazu, daß anscheinend die Differenzierung der präsumptiven Organanlagen von sich aus *nicht eindeutig nur bedeutungsgemäß eingestellt* ist, ja, es zeigt sich bei der Isolierung z. B. von präsumptivem Medullarmaterial eine große Unsicherheit gerade in bezug auf die Verwirklichung des bedeutungsgemäßen Schicksals. Dagegen differenzierte sich Chorda und Muskulatur nach KUSCHE aus *allen* Keimregionen, selbst aus präsumptivem Entoderm häufig aus.

Nur der präsumptive Chorda-Mesodermbereich der Gastrula fällt insofern aus der Reihe dieser Ergebnisse heraus, als hier die Differenzierung im Interplantat im allgemeinen — vielleicht sogar restlos — mit dem wirklichen Schicksal übereingeht. Was also von einem im herkömmlichen Sinne gedachten Anlagenmosaik im Gastrulastadium übrigbleibt, ist die offenbar *ein*deutige *nur bedeutungsgemäße Bestimmung des Chorda-Mesodermbereiches als ganzem* und *eine nur teilweise bedeutungsgemäße Bestimmung der Differenzierungsrichtung der anderen Keimbezirke*; z. B. erhielt KUSCHE aus Entoderm außer Chorda usw. *auch* Darmepithel. Wesentlich ist, daß es also Zeichen für ein Anlagenmosaik im alten ROUXschen Sinne *auch* gibt. Der hintere Dorsalquadrant — evtl. der Randzonenring als ganzer? — ist eindeutig bestimmt und vermag nur seiner prospektiven Bedeutung entsprechendes zu entwickeln. Früher (1928) wurde betont, daß dieses Verhalten für die Teilanlagen Chorda, Muskulatur usw., als zusammensetzende Einzelanlagen gedacht, noch zu prüfen wäre. Es bleibt aber, auch ohne daß diese Teilfrage schon klar wäre, in der Gastrula eine *wesentliche Sonderstellung des Chorda-Mesodermbereiches in bezug auf die Eigendifferenzierungsleistung gegenüber allen anderen Keimbezirken*; und es ist wohl nicht ohne Bedeutung, daß er örtlich gerade mit dem *Organisationszentrum* zusammenfällt (s. unten). *Mehr*deutig — also nicht fest

determiniert — sind präsumptives Ektoderm, Medullarmaterial und nach KUSCHE auch Entoderm; sie sehen sich im Potenzenschatz ziemlich ähnlich.

Während nach der Vorstellung vom Anlagenmosaik im Sinne der älteren Präformationslehre der Keim, bildlich gesprochen, im wesentlichen aus ca. 6 qualitativ verschiedenen, bestimmt großen Mosaiksteinen besteht — aus Gründen der Darstellung vergröbere ich den Sachverhalt —, müssen wir uns *nunmehr* denken, daß im Blastula- und Gastrulastadium, mit gewisser Ausnahme des Organisationszentrums, jene großen Mosaiksteine nach Art eines *Konglomerates* aus vielen kleinen mit sehr verschiedenen Qualitäten ausgestatteten Steinchensorten bestehen würden, die der Selbstdifferenzierungsfähigkeit zu Chorda, Muskulatur, Epithel usw. entsprechen. Von diesen Qualitäten würden *einige* Sorten, z. B. die Vertreter für Chorda und Muskulatur, in einem bestimmten Stadium offenbar im *gesamten* Mosaik verteilt sein. Der *Organisator* bestünde im Gastrulastadium wohl *ausschließlich* aus den letztgenannten. *Andere* wären nur *vorwiegend* bedeutungsgemäß verteilt zwischen bedeutungsfremden Qualitäten. Geben wir den verschiedenen Steinchensorten nach ihrem histologischen Schicksal verschiedenen Farben, nach der Tendenz ihrer Verwirklichung verschiedenen Größen, so würde, wenn wir an die normale Entwicklung denken, bildmäßig gesprochen, das herkömmlich gewohnte Mosaik durch das eben entwickelte hindurchzuklingen scheinen, womit angedeutet sei, daß jenes nicht aufgehoben, sondern nur spezifiziert worden ist. Der Problematik des Bildes bin ich mir wohl bewußt, aber es mag einmal als Arbeitshypothese gelten. Neue Versuche müssen zeigen, wieviel Richtiges ihm zugrunde liegt.

Das Bild als solches fügt sich einigermaßen in jene Vorstellung von Entwicklung ein, welche Determination mit Potenzverarmung einhergehen läßt. Potenziell verarmt in bezug auf seine Differenzierungsfähigkeit — von der Induktions- und Organisationsfähigkeit wird hier abgesehen — wäre also im Gastrulastadium der Chorda-Mesodermbereich. *Früher* als im Blastulastadium besitzt vielleicht auch dieser Bereich noch vielfältigere Differenzierungspotenzen. Das wird sich experimentell durch Züchtung von dorsalen Randzonenzellen der *Morula* prüfen lassen.

Ein solches Experiment könnte schließlich auch zeigen, ob nicht noch eine andere Möglichkeit besteht. Es wäre denkbar, daß im Morulastadium nicht nur aus Randzonenzellen, sondern auch aus allen anderen sich möglicherweise *nur* Chorda ausdifferenzieren würde. Die übrigen Potenzen kämen erst im weiteren Verlauf der Entwicklung zur Auswirkungsmöglichkeit. Dann würde Entwicklung aus einem Ineinander von Potenzentfaltung und Vernichtung bestehen. Mit fortschreitender Entwicklung würden die dem präsumptiven Medullarmaterial, Ektoderm usw. mit Ausnahme des Chordabereiches im Blastulastadium nachweislich schon zukommenden Potenzen, welche über die prospektive Bedeutung hinauszuwirken streben, ausgelöscht werden.

Bedeutungsfremde Selbstdifferenzierung und Regulation.

Die oben entwickelten, vorerst hypothetischen Anschauungen scheinen auch mit unserer Vorstellung über Regulationsvorgänge nicht im Widerspruch zu stehen. Dazu folgendes: Wenn ein Ei so durchgeschnürt wird, daß sein graues Feld halbiert wird, entstehen Zwillinge (SPEMANN 1901 bis 1903). Man könnte sich die Regulation in einem solchen Falle unter faktischer Umordnung der materiellen Teilchen denken, denn das Ei befindet sich in halbflüssigem Zustande und einer Verschiebung der Teilchen steht wenig im Wege. Ob aber eine solche Verschiebung tatsächlich in dem Umfang statthat, wie er zu einer völligen Neuordnung der Keimanlagen nötig wäre, wissen wir im einzelnen nicht, aber es ist sehr unwahrscheinlich. Zumindest scheint der Organisatorbezirk, wie man aus den Keimverschmelzungsversuchen O. MANGOLDS folgern muß —, s. das Schema in O. MANGOLD und F. SEIDEL 1927 — im wesentlichen an Ort und Stelle. Wahrscheinlich erfolgen im Falle der Eischnürung nur solche Verschiebungen, die durch den technischen Eingriff *unmittelbar* bedingt sind. Sie *allein* können die Schaffung eines notwendig neuen Anlageschemas im Sinne der Ganzbildung im Halbei nicht erklären. Auf noch größere Schwierigkeiten stößt die Vorstellung der Umregulation auf Basis von durchgreifender materieller Umordnung bei einem in gleicher Weise durchschnürten Blastulakeim (SPEMANN 1901 bis 1903), denn hier ist der Keiminhalt nicht an eine, sondern an sehr viele Trennung gebende Zellen gebunden. Man kann mit einiger Sicherheit voraussagen, daß hier, mit der Durchtrennung kombinierte Vitalmarkierungen wohl kaum viel mehr, als die durch den Operationseffekt bedingten Umordnungen zeigen werden, und daß diese nicht genügen, die Umgestaltung des Entwicklungsschemas in Richtung auf ein Ganzes zu gewährleisten.

Aus jenen Versuchen SPEMANNS geht hervor, daß gewissen Teilen der Halbblastula auch andere Potenzen zukommen müssen als ihrer prospektiven Bedeutung entspricht; aber wir wußten bisher nicht, ob jenen Keimteilen, die im Durchtrennungsversuch SPEMANNS eine andere prospektive Bedeutung erlangen, die Möglichkeit dazu nur in einem *ganz allgemeinen Sinne* innewohnt, so daß sie — etwa nullipotent im Sinne von WEISS — einer Potenzweckung von seiten des Organisators harren, die jetzt erstmalig in ihnen, als in einem „leeren" Baumaterial, durch Induktion vor sich gehen würde. Dabei brauchte dieses Baumaterial zunächst nur *überhaupt* empfänglich zu sein für Potenzschaffung; es brächte zwar die allgemeinen *Entwicklungsbedingungen* mit, hätte aber alles noch zu lernen, was nach der Abtrennung von

der anderen Hälfte, an neuem von ihm gefordert würde. Aus den erwähnten Versuchen SPEMANNS dieser und ähnlicher Art, wie auch aus den Umordnungsversuchen DRIESCHS und O. MANGOLDS konnte nur auf einen weiten passiven Potenzenschatz ganz im allgemeinen geschlossen werden. Die von KUSCHE und mir erzielten Ergebnisse bestätigen diesen aus zahlreichen Untersuchungen über Austausch und Regulation im Gastrulastadium seit DRIESCH bekannten Schluß; darüber hinaus zeigen sie, daß es einen vielfältigen, im einzelnen Keimbezirk vorbereitet liegenden und über dessen Bedeutung hinaus erweiterten aktiven Potenzapparat geben muß. Die Stücke, die nach Abtrennung vom Organisator als Induktionszentrum, im Interplantatversuch so Vielfältiges aus sich hervorgehen lassen, können auch im normalen Keimzusammenhang nicht nullipotent gewesen sein. In ihnen liegen Mechanismen präformiert, und zwar nicht nur Mechanismen, die die ursprüngliche Bedeutung allein oder diese und die nächst nachbarliche, sondern auch manche sehr „entfernte" zu verwirklichen vermögen. Man sieht sie am Werk, sowie man dem Stück in der Isolierung die Möglichkeit gibt, von seinen vorgebildeten mehrdeutigen Mechanismen aktiven Gebrauch zu machen. In großen Zügen haben wir — vorläufig für das Blastula- und Gastrulastadium — den Apparat vor uns, der der Regulation, als einem *übergeordneten* Prinzip, die totale Umänderung des Entwicklungsschicksals z. B. der Halbblastula zum Ganzkeim gestattet, auch ohne daß es zu wesentlichen materiellen Verlagerungen kommen müßte. Warum nach der Durchtrennung Regulation einsetzt und mit welchen Mitteln sie arbeitet, um von diesem Apparat Gebrauch zu machen, ist eine davon unabhängige Frage, von deren Lösung wir weit entfernt sind.

Wie dieser Potenzapparat in *jüngeren* Stadien aussieht, das können, wie erwähnt, vielleicht Implantatversuche an der jungen Blastula und an der Morula zeigen. Möglicherweise ließe sich aus solchen Versuchen auch einiges auf den Regulationsmechanismus bezügliche herauslesen.

Solange nicht gewichtige Gründe dagegen stehen, ist es wohl das Natürliche anzunehmen, daß die im Interplantatversuch aufgewiesene Pluripotenz dem Keimbezirk auch im normalen Keimzusammenhang schon eigen war, ehe er isoliert wurde. Danach müßte im Regulationsversuch, wie in der normalen Entwicklung ein Teil der verfügbaren Mechanismen *gehemmt* werden, so daß mit Erreichung desEndes der Determinationsphase, mit der auch Regulation aufhört, nur *die* Potenzen übrigbleiben, welche der prospektiven Bedeutung entsprechen.

Die Bewerkstelligung der sinngemäßen Hemmung und Förderung dieser oder jener Verwirklichungsrichtung läge in jenen Sondereigenschaften des Organisationszentrums (Induktionsfähigkeit) begründet, deren Natur wir im einzelnen nicht kennen, für deren Wirkungsweise wir aber neue Anhaltspunkte gewinnen.

Bedeutungsfremde Selbstdifferenzierung und Organisatoreigenschaften.

Wie durch einen Zufall scheint uns der Interplantatversuch einen Weg zu eröffnen, der von einer neuen Seite her in der Analyse des Organisationszentrums weiterführen könnte. Man kann die Frage aufwerfen, und das geschah früher (1928, 215/17) in ähnlichem Zusammenhang, ob denn die induzierenden Kräfte, die ja als besondere Eigenschaft des Organisationszentrums in der Gastrula im Chorda-Mesodermbereich beisammenliegen, in irgendeiner spezifischen Weise an dessen Differenzierung gerade zu Chorda und Mesoderm verankert sind. Die 1928 beschriebenen Experimente gestatteten keinen endgültigen Entscheid. Jetzt eröffnet sich eine technisch durchführbare Prüfungsmöglichkeit vermittels der Interplantationsmethoden (s. unten).

In der beginnenden Gastrula besitzt nur der Chorda-Mesodermbereich induzierende Fähigkeiten, und es ist merkwürdig, daß der präsumptive Medullarbezirk mit Ablauf der Gastrulation *ebenfalls* Induktionsfähigkeiten bekommt, die von da ab bis ins späte Larvenstadium beibehalten werden (s. MANGOLD und H. SPEMANN 1928, MANGOLD 1929); gleichzeitig sind mit der Einrollung Veränderungen in der Verteilung der induzierenden Kräfte im Urdarmdach verbunden (s. über den Plan der Verteilung der induzierenden Kräfte und ihre Beziehung zur normalen Entwicklung in BAUTZMANN 1928, 218ff.). Der animale Pol der Blastula (unveröffentlicht, 1926) induziert nicht und verhält sich darin wie der animale Pol der Gastrula. Wenn nun später, in der fertigen Gastrula, im gleichen Material induzierende Kräfte auftreten, so kann man das unter zwei Gesichtspunkten zu deuten versuchen. Sie könnten in loco entstanden sein, und zwar entweder in Bindung an die Differenzierung dieses Gebietes zu Medullarmaterial oder aber in Unabhängigkeit davon. Im letzten Fall müssen sie an eine andere Keimeigenschaft gebunden sein, die wir noch nicht kennen.

Die Prüfung der *Frage nach der Bindung der induzierenden Kräfte* denke ich mir in folgender Richtung: Wenn die Induktionsfähigkeit des Chorda-Mesodermbereiches an die Ausdifferenzierung gerade von Chorda und Mesoderm geknüpft wäre, so dürften wir im interplantierten Material *dann* Induktionsvermögen erwarten, wenn es sich zu Chorda und Mesoderm differenziert; d. h. nach den oben dargestellten Resultaten KUSCHES würden wir nach *intermediärer Züchtung jedes* Keimbereichs der Gastrula Induktionsvermögen erwarten. Da die herkunftsgemäße Differenzierung zu Medullarmaterial im Interplantatversuch nicht gut zu gelingen scheint, müßte man die Frage nach der Bindung der induzierenden Kräfte, welche im späteren Medullarmaterial vorhanden sind, an etwas älteren Stadien zu lösen versuchen.

Für den Organisator vermögen wir sie vielleicht zu lösen, ohne ihn selbst zu benützen. Man

könnte ein Stück animalen Polmaterials der Gastrula solange im Interplantatversuch züchten, bis der Spender seine Gastrulation beendet hat; das Stück wäre dann aus dem Augenraum der Larve herauszunehmen, und gemäß der Einsteckmethode von MANGOLD-SPEMANN in die Furchungshöhle einer Gastrula zu bringen, in deren Ektoderm es seine Induktionsfähigkeit erweisen könnte. Induziert das Interplantat und ergibt die nachträgliche histologische Untersuchung, daß es zu Chorda und Mesoderm geworden war, so spräche das zugunsten einer Bindung der Induktionsfähigkeit an gerade diese histologische Differenzierungsweise. Beweisender allerdings würde der Versuch sein, wenn man ihn mit präsumptivem Ektoderm ausführt, aus welchem nach KUSCHE ebenfalls Chorda und Muskulatur hervorgehen kann; denn, soweit bekannt, gewinnt präsumptives Ektoderm normalerweise niemals induzierende Kraft, während wir das umgekehrte von präsumptivem Medullarmaterial ja wissen.

Ein negativer Ausfall des vorgeschlagenen Versuchs würde dafür sprechen, daß die Induktionsfähigkeit, ob an Organdifferenzierung gebunden oder nicht, in loco nicht entstehen kann, sondern in der normalen Entwicklung erst später aufs Medullarmaterial übertragen würde, eine Möglichkeit, die von SPEMANN (1927) schon erwogen worden ist. Solche Versuche, die in verschiedener Weise variiert werden können, dürften in jedem Falle geeignet sein, unser Wissen über das Wesen der Induktionsfähigkeit zu erweitern.

Literatur.

O. BANKI, Die Lagebeziehungen der Spermiumeintrittsstelle zur Medianebene und zur ersten Furche nach Versuchen mit örtlicher Vitalfärbung am Axolotlei. Verh. anat. Ges. **1927**.

H. BAUTZMANN, Experimentelle Untersuchungen zur Abgrenzung des Organisationszentrums. Arch. Entw.mechan. **108** (1926).

— — Experimentelle Untersuchungen über die Induktionsfähigkeit von Chorda und Mesoderm bei Triton. Arch. Entw.mechan. **114** (1928).

— — Über Züchtung von Organanlagenstücken junger Embryonalstadien von Urodelen und Anuren in Bombinatorhautbläschen. Sitzgsber. Ges. Morph. u. Physiol. Münch. **39** (1929).

H. BYTINSKY-SALZ, Untersuchungen über das Verhalten des präsumptiven Gastrulaektoderms der Amphibien bei heteroplastischer und xenoplastischer Transplantation ins Gastrocoel. Arch. Entw.mechan. **114** (1929).

B. DÜRKEN, Das Verhalten embryonaler Zeilen im Interplantat. Verh. dtsch. zool. Ges., Zool. Anz. **1**, Suppl.-Bd. (1925).

— — Das Verhalten embryonaler Zellen im Interplantat. Mit Berücksichtigung des Geschwulstproblems. Arch. Entw.mechan. **107** (1926).

K. GOERTTLER, Die Formbildung der Medullaranlage bei Urodelen, im Rahmen der Verschiebungsvorgänge während der Gastrulation und als entwicklungsphysiologisches Problem. Arch. Entw.mechan. **106** (1925).

K. GOERTTLER, Die Bedeutung gestaltender Bewegungsvorgänge beim Differenzierungsgeschehen. Arch. Entw. mechan. **112** (1927).

L. GRÄPER, Determination und Differenzierung. Arch. Entw.mechan. **98** (1923).

J. HOLTFRETER, Defekt und Transplationsversuche an der Anlage von Leber und Pankreas jüngster Amphibienkeime. Arch. Entw.mechan. **105** (1925).

— — Über die Aufzucht isolierter Teile des Amphibienkeims. Arch. Entw.mechan. **117** (1929).

W. KUSCHE, Interplantation umschriebener Zellbezirke aus der Blastula und der Gastrula von Amphibien. L-Versuche an Urodelen. Arch.Entw.mechan. **120**(im Druck), Autoreferat dazu: Naturwiss. **17**, H. 25 (1929).

F.E. LEHMANN, Entwicklungsstörungen in der Medullaranlage von Triton, erzeugt durch Unterlagerungsdefekte. Arch. Entw.mechan. **108** (1926).

— — — Die Bedeutung der Unterlagerung für die Entwicklung der Medullarplatte von Triton. Arch. Entw.mechan. **113** (1928). -

O. MANGOLD, Fragen der Regulation und der Determination an umgeordneten Furchungsstadium und verschmolzenen Keimen von Triton. Arch. Entw. mechan. **47** (1920).

— — Transplantationsversuche zur Frage der Spezifität und der Bildung der Keimblätter. Arch. Entw.-mechan. **100** (1923).

— — und F. SEIDEL, Homoplastische und heteroplastische Verschmelzung ganzer Tritonkeime. Arch. Entw.mechan. **111** (1927).

— — und H. SPEMANN, Über Induktion von Medullarplatte durch Medullarplatte im jüngeren Keim, ein Beispiel homöogenetischer oder assimilatorischer Induktion. Arch. Entw.mechan. **111** (1927).

— — Das Determinationsproblem. Erg. Biol. **3** (1928).

— — Experimente zur Analyse der Determination und Induktion der Medullarplatte. Arch. Entw.mechan. **117** (1929).

G. RUUD und H. SPEMANN, Die Entwicklung isolierter dorsaler und lateraler Gastrulahälften von Triton taeniatus und alpestris, ihre Regulation und Postgeneration. Arch. Entw.mechan. **52**—**97** (1922).

H. SPEMANN, Entwicklungsphysiologische Studien am Tritonei. I., II., III. Arch. Entw. mechan. **12**, **15**,**16** (1901, 1902, 1903).

— — Über die Determination der ersten Organanlagen des Amphibienembryo. I. bis V. Arch. Entw.-mechan. **43** (1928).

— — und HILDE MANGOLD, Über Induktion von Embryonalanlagen durch Implantation artfremder Organisatoren. Arch. Entw.mechan. **100** (1924).

— — Über Organisatoren in der tierischen Entwicklung. Naturwiss. **12** (1924).

— — und B. GEINITZ, Über Weckung organisatorischer Fähigkeiten durch Verpflanzung in organisatorische Umgebung. Arch. Entw.mechan. **109** (1927).

— — Neue Arbeiten über Organisatoren in der tierischen Entwicklung. Naturwiss. **15**, H. 48 (1927).

W. VOGT, Die Einrollung und Streckung der Urmundlippen bei Triton mit einer neuen Methode embryonaler Transplantation. Verh. dtsch. zool. Ges. **1922**.

— — Morphologische und physiologische Fragen der Primitiventwicklung. Versuche zu ihrer Lösung mittels vitaler Farbmarkierung. Sitzgsber. Ges. Morph. u. Physiol. Münch. **15** (1923/24).

— — Gestaltungsanalyse am Amphibienkeim mit örtlicher Vitalfärbung. I. Teil. Arch. Entw.mechan. **106** (1925).

W. Vogt, Die Beziehungen zwischen Furchung, Hauptachsen des Embryo und Ausgangsstruktur im Amphibienei, nach Versuchen mit örtlicher Vitalfärbung. Sitzgsber. Ges. Morph. u. Physiol. München. **37** (1926).
— — Über Wachstum und Gestaltungsbewegungen am hinteren Körperende der Amphibien. Anat. Anz. Erg.-H. **61** (1926).
— — Mosaikcharakter und Regulation in der Frühentwicklung des Amphibieneies. Verh. dtsch. zool. Ges. **32** (1928).
W. Vogt, Gestaltungsanalyse am Amphibienkeim mit örtlicher Vitalfärbung. II. Teil. Arch. Entw.mechan. 120 (im Druck), Autoreferat dazu: Naturwiss. **17**, H. 25 (1929).
P. Weiss, Morphodynamik. Abh. theor. Biol. **1926**, H. 23.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *Zuschriften* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer raschen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken. Bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Zur Systematik der Bindungstypen zweiatomiger Moleküle.

Die Beziehungen der beiden tiefsten Elektronenterme zweiatomiger Moleküle wurden in bezug auf den Verlauf ihrer Potentialkurven untersucht. Die Betrachtung der gegenseitigen Lage dieser Kurven führt zu eindeutigen Schlüssen über die Systematik der Bindungstypen. Analysiert man die verschiedenen Möglichkeiten für den Potentialverlauf, so läßt sich in jedem dieser Fälle ein ganz bestimmter Bindungstyp erkennen. Zum Beispiel ist in der Gruppe der reinen Atommoleküle (unpolare Bindung) zu unterscheiden, ob die Bindung wesentlich auf der Austauschwechselwirkung oder auf Coulombscher Wechselwirkung beruht. Bei Molekülen mit gerader Elektronenzahl und Austauschbindung ist die Dissoziationsenergie des angeregten Zustandes kleiner als die des unangeregten, die Kurven überschneiden sich nicht, die Abschattierung ist rot. Bei ungerader Elektronenzahl und Austauschbindung ist die Dissoziationsenergie des angeregten Molekülzustandes gleichfalls kleiner, die Potentialkurven überschneiden sich jedoch. Auch hier ist die Abschattierung rot. Ungeradzahlige Moleküle mit Coulombbindung haben im angeregten Zustand größere Dissoziationsenergie, die Kurven überschneiden sich demzufolge nicht, die Abschattierung ist violett. Weitere Fälle ergeben sich bei Berücksichtigung der Potentialkurven für Ionenbindung, wobei es sich dann entweder um Ionenmoleküle oder um Moleküle handelt, bei denen die Kurve des Ionenpotentials zum ersten Anregungszustand des Moleküls führt. Die Abschattierung des Bandensystems, das dem Übergang zwischen den beiden tiefsten Elektronenzuständen entspricht, läßt sich für jeden Molekültypus theoretisch angeben. Ferner zeigt sich, daß normale Moleküle im Sinne der Chemie — gleichgültig, ob Atom- oder Ionenmoleküle — lediglich die sind, bei denen die Vereinigung zweier unangeregter Atome oder Ionen zu einem Zustand mit größerer Dissoziationsenergie führt, als die Vereinigung eines angeregten und eines unangeregten.

Breslau, den 5. September 1929.

H. Lessheim. R. Samuel.

Besprechungen.

BOUTROUX, P., **Das Wissenschaftsideal der Mathematiker.** Deutsch mit erläuternden Anmerkungen von H. Pollaczek-Geiringer. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1927. II, 253 S. 13×19 cm. Preis geb. RM 11.—.

Der Verfasser stellt sich in diesem Buch, dessen Originalausgabe 1920 erschienen ist, die interessante Aufgabe, durch die Geschichte der Mathematik die Wandlungen des Wissenschaftsideals zu verfolgen, das den verschiedenen Generationen von Mathematikern vorgeschwebt hat. Es versteht sich von selbst, daß im Rahmen eines Werkes vom Umfang des vorliegenden diese Aufgabe nur in skizzenhafter Weise gelöst werden kann.

Der Verfasser unterscheidet 3 Hauptperioden in der Geschichte der Mathematik, die jeweils durch ein anderes Wissenschaftsideal gekennzeichnet sind. Die Hellenen hatten nach ihm ein vorwiegend ästhetisches Ideal. Zuerst war es die Schönheit und Vollkommenheit eines mathematischen Gebildes, die sie veranlaßte, sich mit ihm zu beschäftigen. Später trat die Schönheit der Lehrsätze und die Architektonik des Systems mehr in den Vordergrund. Ein ganz anderes Gesicht zeigt die Mathematik in ihrer zweiten Blüteperiode, die mit Descartes und Fermat begann. Hier wird die mathematische Forschung sozusagen zum industriellen Großbetrieb. Dabei wird sie mechanisiert. Es bildet sich die Vorstellung, daß der Mathematiker aus bekannten Elementen nach bewährten Methoden immer neue Kombinationen zu bilden habe; die „algebraisch-synthetische Methode" nennt Boutroux dies Verfahren. Diese Periode wird seiner Auffassung nach durch das Vorherrschen der Algebra und Logik und durch das Zurücktreten der Intuition gekennzeichnet. Im 19. Jahrhundert ändert sich das Bild. Die mathematische Forschung zersplittert sich — besonders in der 2. Hälfte des Jahrhunderts — in eine so große Zahl von Schulen und Richtungen, daß von einem einheitlichen Wissenschaftsideal kaum mehr gesprochen werden kann. Boutroux will allerdings als einen gemeinsamen Charakterzug dieser Periode die Herrschaft der *Analyse* im Gegensatz zu der vorher herrschenden *Synthese* feststellen. Wir müssen jedoch gestehen, daß es uns nicht gelungen ist, die präzise Bedeutung zu erfassen, die der Verfasser mit diesen an sich so vieldeutigen Ausdrücken verbindet.

Boutroux stellt dann auch als Ergebnis seines historischen Streifzuges *Richtlinien* für die gegenwärtige Forschung auf. Man muß, sagt er, erst die Grundlage für eine Theorie geschaffen haben, ehe man ihr eine präzise Form geben kann. „Der moderne Mathematiker muß ein Problem zunächst als offene Frage betrachten, eine Frage, auf die er eine Antwort finden soll." Diese und ähnliche Gemeinplätze machen den Inhalt dieses Paragraphen aus. Nicht viel besser geht es, ungeachtet einiger treffenden Bemerkungen, um den letzten Paragraphen, der vom *mathematischen Unterricht* handelt. Man kann wohl nicht behaupten, daß Boutroux zu

der Fülle von Anregungen, die gerade auf diesem Gebiete im letzten Menschenalter erfolgt sind, etwas wesentlich Neues hinzugefügt hätte.

An verschiedenen Stellen übt der Verfasser eine abfällige Kritik an den Ideen und Methoden der modernen *Logistik*. Wir müssen jedoch feststellen, daß es ihm auf diesem Gebiet offenbar an demjenigen Maß von Sachkenntnis mangelt, das ihn zu einer solchen Kritik berechtigen würde. Um nur eines von vielen Beispielen anzuführen, verweisen wir auf S. 147. Es ist dort von dem Satz der „Beziehungslogik" die Rede, daß zu jeder Beziehung die inverse existiert. Nach BOUTROUX gilt dieser Satz in der Mathematik nicht; denn es kommt vor, daß zwar jedem Wert von x ein Wert von y entspricht, es aber zu gewissen Werten von y keine oder unendlich viele Werte von x gibt. Diese Argumentation hat offenbar nur dann einen Sinn, wenn man annimmt, eine Beziehung müßte stets *eindeutig* sein. Davon ist aber natürlich in der Beziehungslogik nicht die Rede.

Über die Güte der Übersetzung können wir ohne Kenntnis des Originals kein Urteil fällen. Manche Sätze sind ziemlich unverständlich; aber die Schuld daran muß nicht unbedingt den Übersetzer treffen. Im übrigen hat er das Werk um eine Reihe wertvoller Anmerkungen hauptsächlich historischen Inhalts bereichert.

KURT GRELLING, Berlin-Johannisthal.

HÖLDER, OTTO, **Die Arithmetik in strenger Begründung.** 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1929. V, 73 S. 14×22 cm. Preis RM 3.60.

Diese Schrift trägt einen etwas irreführenden Titel. Sie baut — nach der eigenen Angabe des Verfassers — die Arithmetik im wesentlichen nach der Auffassung von WEIERSTRASS auf. Nun hat diese Grundlegung der Arithmetik zu ihrer Zeit gewiß einen großen Fortschritt bedeutet, und es liegt uns fern, die Verdienste WEIERSTRASS' um die moderne Grundlagenforschung verkleinern zu wollen. Aber ohne seinem Andenken zu nahe zu treten, kann man doch wohl sagen, daß die Anforderungen an Strenge in den seither vergangenen fünfzig Jahren erheblich gestiegen sind. Schließlich ist ja die Arbeit zweier Generationen von Grundlagenforschern nicht ganz vergeblich geblieben, mag man — wie HÖLDER das anscheinend tut — ihren Ergebnissen noch so skeptisch gegenüberstehen.

Nach einigen vorbereitenden Betrachtungen methodischer Art werden der Reihe nach die *ganzen*, die *rationalen*, die *irrationalen*, die *negativen* Zahlen eingeführt. Zum Schluß wird die Messung von Strecken begründet.

HÖLDER glaubt im Gegensatz zur heute herrschenden Auffassung aber in Übereinstimmung mit WEIERSTRASS die Arithmetik ganz ohne Axiome aufbauen zu können. Wie ihm das gelingt, mag die Einführung der ganzen Zahlen zeigen. Er betrachtet die Zahlen „als eine Reihe von Zeichen 1, 2, 3, 4 . . ., die nicht abbricht und in der niemals ein Zeichen wiederkehrt". Diese Erklärung ist zunächst einmal unvollständig. Es fehlt die Angabe, daß jedes Glied einen unmittelbaren Nachfolger und jedes außer dem ersten einen unmittelbaren Vorgänger hat. Davon abgesehen aber genügt bekanntlich in der Mathematik die Aufstellung einer Definition keineswegs, um die Existenz des definierten Gegenstandes zu gewährleisten; man muß vielmehr diese Existenz entweder *beweisen*, wozu man notgedrungen Axiome oder Postulate braucht, oder man muß sie direkt durch ein neues Axiom *postulieren*. Es wird in HÖLDERS Schrift vielfach von rekurrenten Definitionen Gebrauch gemacht. Es wird aber nirgends bewiesen, daß solche rekurrenten Definitionen für jeden Wert, der in ihnen vorkommenden Variablen dem zu definierenden Ausdruck eine Bedeutung zuordnen. Dazu würde der Satz der vollständigen Induktion gebraucht werden, der aber, soviel wir sehen, nirgends erwähnt, geschweige denn bewiesen wird. Es würde zu weit führen, hier alle Lücken aufzuzeigen, die der HÖLDERsche Aufbau der Artihmetik aufweist. Von einer *strengen* Begründung dieser Disziplin kann man also kaum sprechen.

Damit soll aber keineswegs dem Büchlein jeder Wert abgesprochen werden. Wenn man bewußt auf Strenge im modernen Sinne verzichtet — und das wird man aus pädagogischen Gründen häufig tun müssen — so bietet HÖLDERS Schrift zahlreiche wertvolle Anregungen für einen Aufbau der Arithmetik.

KURT GRELLING, Berlin-Johannisthal.

STUDY, E., **Denken und Darstellung in Mathematik und Naturwissenschaften.** Zweite verbesserte und erweiterte Auflage. Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaft und der Technik. Heft 59. Braunschweig: Fr. Vieweg und Sohn, Akt.-Ges. 1928. 63 S. 14×22 cm. Preis RM 3.75.

Diese Schrift ist als Auseinandersetzung mit PASCHS „Mathematik und Logik" entstanden; über ihre Hauptgedanken wurde bereits in der Besprechung der ersten Auflage berichtet[1]. Der Text der neuen Auflage ist im Ausdruck der Polemik gemildert und im übrigen durch neue Einfügungen mannigfach bereichert. Während z. B. in der ersten Auflage das wissenschaftlich Wertvolle (innerhalb der Mathematik) vorwiegend durch seine Fruchtbarkeit, seinen Reichtum an mathematischen Folgerungen und Anwendungsmöglichkeiten charakterisiert war, wird nun auch seine innere Einfachheit hervorgehoben und näher gekennzeichnet. Immer wieder, so heißt es, stößt die vordringende mathematische Forschung an gewissen Stellen auf Gruppen zusammengesetzter Begriffe, die in ihren Wechselbeziehungen dennoch den Charakter der Einfachheit aufweisen; was sich äußerlich darin zeigt, daß sich kurze, prägnante, leicht zu behaltende Lehrsätze darüber aufstellen lassen. An diesen — oft vorher kaum vermuteten — Stellen nun findet der eigentliche Weiterbau der mathematischen Wissenschaft statt, während man sonst überall bald dahin kommt, wo ein Fortschritt nur noch mit unverhältnismäßigem Kraftaufwand zu erzielen ist. Außer zahlreichen Textergänzungen dieser Art enthält die neue Auflage als Anhang noch einige besonders lehrreiche Hinweise für Nichtmathematiker, u. a. einige der interessantesten Fehlschlüsse aus der Kurven- und Flächentheorie, erläutert durch einfache Gegenbeispiele. Zum Schluß wird mit Nachdruck auf die „Wissenschaftslehre" BOLZANOS aufmerksam gemacht. STUDYS Schrift sei allen empfohlen, die sich für das Wissenschaftsideal der Mathematiker interessieren, insbesondere auch denen, die das größere französische Werk über diesen Gegenstand, das seit kurzem in deutscher Übersetzung vorliegt[2], studieren wollen oder bereits studiert haben. Für die einen wird die Schrift STUDYS eine sehr anregende und fesselnde Einführung bieten; den anderen wird sie in ihrer individuellen Unmittelbarkeit eine höchst instruktive konkrete Erläuterung und Ergänzung des französischen Werkes sein.

KARL GERHARDS, Aachen.

[1] Vgl. Naturwiss. **11**, 826 (H. 40) (1923).

[2] P. BOUTROUX, Das Wissenschaftsideal der Mathematiker. Autorisierte deutsche Ausgabe mit Anmerkungen von Dr. H. POLLACZEK-GEIRINGER. (Wissensch. u. Hypoth. Bd. XXVIII.) Leipzig und Berlin 1927.

Botanische Mitteilungen.

Die bisherigen Ergebnisse der Mooruntersuchungen in Böhmen. Es ist in dieser Zeitschrift schon verschiedentlich über die Mooruntersuchungen von RUDOLPH und FIRBAS in Böhmen berichtet worden. Neuerdings faßt nun RUDOLPH den derzeitigen Stand der Forschung in einer ungemein gediegenen und in ihren Schlüssen aufs sorgfältigste abgewogene Arbeit zusammen, die vor allem deshalb wertvoll ist, weil sie die gesamten europäischen Verhältnisse vergleichend heranzieht [Bot. Zbl. Beih., Abt. II **45** (1928)]. In einem ersten Teile werden im Anschluß an die Untersuchungen der schwedischen Forscher die verschiedenen Moortypen Böhmens übersichtlich dargestellt. Der 2. Teil ist der regionalen Waldgeschichte im Postglazial gewidmet. Im Vordergrund steht hier naturgemäß die pollenanalytische Behandlung des Materials, die sich auf 79, über ganz Böhmen verteilte Moore gründet. Bei den klimatischen Kontrasten des Geländes läßt sich kein für das ganze Gebiet gültiges Einheitsprofil aufstellen, indessen ergeben sich doch gemeinsame Gesichtspunkte, wobei gerade die verschiedenen Varianten die orographischen und geographischen Differenzen in sehr schöner Weise widerspiegeln. Die auf das Erzgebirge bezüglichen Ergebnisse werden in ein Durchschnittsdiagramm zusammengefaßt, daß einer mittleren Höhenlage entspricht (Fig. 1).

Mit Deutlichkeit heben sich folgende Phasen heraus:

1. Kiefernphase; neben dominierender Kiefer (bis über 90%) nur wenig Weide und Birke.

2. Kiefern-Haselphase; Kiefer geht zurück, Hasel steigt jäh empor und erreicht 90%. Die Erle und die Vertreter des Eichenmischwaldes (Linde, Ulme, Eiche) erscheinen.

3. Fichtenphase; die Fichten- durchschneidet die Kiefernkurve, übersteigt 50% und ist lange Zeit führend, um ziemlich steil wieder abzusinken; Kiefer und Hasel gehen zurück, Buche, Tanne und Hainbuche erscheinen. Nach dem allgemeinen Kurvenverlauf kann die Fichtenphase untergegliedert werden in:

a) Eichenmischwald-Fichtenphase, in der der Eichenmischwald zumeist seine Höchstwerte bis gegen 20% erlangt und

b) Buchen-Fichtenphase, in der Buche und Tanne emporsteigen.

4. Buchen-Tannenphase; Buche und Tanne erreichen ihren Gipfelpunkt, Eichenmischwald geht zurück.

5. Kiefern-Fichtenphase; gehört der jüngsten Vergangenheit an und mündet in die Gegenwart herein. Kiefer und Fichte erheben sich zu einem zweiten Maximum.

Reihen wir diese Waldetappen in das postglaziale Zeitschema ein, so wäre zu sagen, daß die zweifellos kühle Kiefernperiode mit verarmtem Waldbild dem Präboreal entspricht. Die Haselperiode ist boreal, die Fichtenperiode deckt sich etwa mit dem Atlanticum und ist der ebenfalls atlantischen Tannenperiode im Schwarzwald gleichzusetzen. In schöner Weise kommt der kontinentalere Charakter des Ostens zum Ausdruck. Die Buchen-Tannenperiode umfaßt das Subboreal und das Subatlanticum. Die Durchkreuzung der absinkenden Fichtenkurve durch die ansteigende Buchen- und Tannenkurve markiert etwa den Zeitpunkt des Grenzhorizontes, der in Norddeutschland den ältesten, stark zersetzten von dem jüngeren, wenig zersetzten Sphagnumtorf trennt und in Böhmen häufig durch Waldhorizonte charakterisiert ist. Hierin gelangt eine Trockenperiode zum Ausdruck

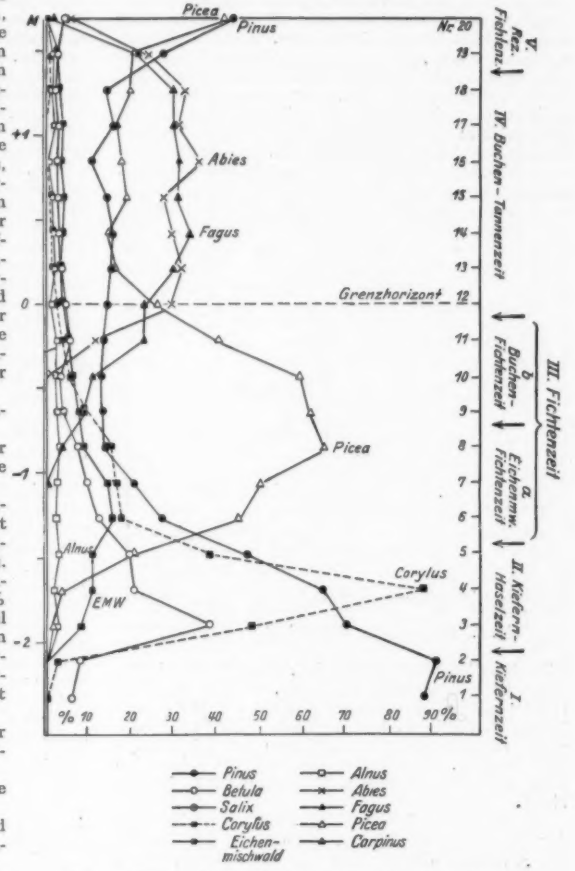


Fig. 1. Durchschnittsdiagramm für das Erzgebirge.

Etwas abweichende Verhältnisse treffen wir in tieferen Lagen an. Als Typus sei hier das Pollendiagramm vom Kommerner See bei Brüx am Südfuße des Erzgebirges gewählt (Fig. 2). Als Unterschied ergibt sich hier, daß die Haselkurve nicht so hoch steigt, während die Eichenmischwaldkurve, der tieferen Lage entsprechend, höhere Beträge erreicht und vor dem Kulminationspunkt der Fichte einen selbständigen absoluten Gipfel erlangt, wogegen die Kurve der Fichte stark deprimiert erscheint. Kulturreste ermöglichen hier

eine Verknüpfung mit der Prähistorie. Danach fällt die Eichenmischzeit ins Vollneolithicum (Stichbandkeramik), während die Durchschneidung der Fichtendurch die Buchenkurve ins Spätneolithicum einzureihen ist, das damit der Grenzhorizontzeit entspricht.

Das Verhalten des Waldbildes im Bereiche der Kiefernzeit in ganz Böhmen spricht dafür, daß auch in den wärmsten Teilen das Gebiet während der Eiszeit von den thermophilen Gehölzen geräumt war; daß auch in der präborealen Zeit selbst das Klima noch recht kühl gewesen sein muß, ist aus der Tatsache ersichtlich, daß damals die Zwergbirke (Betula nana) auch in tiefen Lagen heimisch war. Andererseits darf aus dem Umstand, daß dann späterhin Hasel und Eichenmischwald sowie auch Buche und Tanne zum Teil 400 m höher stockten als ihrer gegenwärtigen Verbreitung entspricht, besonders mit Rücksicht auf den gleichzeitigen Vorstoß von Hasel und Eichenmischwald in Skandinavien geschlossen werden, daß die Temperatur späterhin zweifellos höher lag als in der Gegenwart.

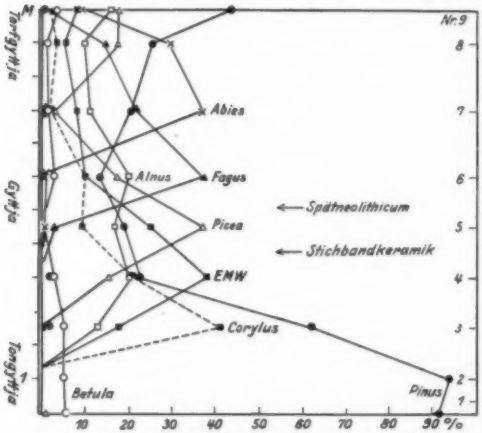


Fig. 2. Kommerner See bei Brüx (230 m).

Die wärmeliebenden Bäume sind, worauf auch die Befunde im Riesengebirge hindeuten, wohl bis zum Gebirgskamm emporgestiegen und haben erst in der kühleren, subatlantischen Periode („Klimasturz") den nunmehr wieder vordringenden Fichten und Kiefern das Feld geräumt. Der für die Gegenwart so bezeichnende Knieholzgürtel der oberen Gebirgsstufe hat sich gebildet.

Im einzelnen sei darauf hingewiesen, daß die Kurve der Tanne und der Buche, speziell was den Anstieg betrifft, eine gewisse Gegensätzlichkeit aufweise, derart, daß man Buchen- und Tannengebiete unterscheiden kann. In den Tannengebieten breitet sich die Tanne früher aus, so daß hier der zweite Teil der Fichtenperiode den Namen Tannen-Fichtenperiode verdient.

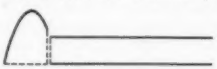
Aus der geschilderten Baumfolge ergibt sich, „daß der Gang der Klimaentwicklung im großen von einem subarktischen, kalt-ariden Steppenklima zunächst zu einem warm-kontinentalen Eichen- und Eichen-Fichtenklima und schließlich zu einem mehr atlantisch getönten Buchen-Tannenklima führte". Dabei nimmt Rudolph an, daß die ganze Abfolge der verschiedenen Waldetappen im wesentlichen klimatisch bedingt ist, und daß die Refugienlage und die Einwanderungswege nur eine untergeordnete Rolle spielen. Dafür führt er ins Feld, daß in großen Zügen die Sukzession Kiefernperiode → Haselperiode → Eichenmischwaldperiode → Buchenperiode von der Auvergne bis nach Böhmen anscheinend ziemlich gleichzeitig durchläuft[1]. Nur die Fichte und die Tanne gehen ihre besonderen Wege, insofern, als die Fichte im Osten in *ebenen Lagen* früher zur Herrschaft gelangt, während die Tanne im Westen in den *Gebirgslagen* voraneilt. (Schwarzwald, Schweizer Jura.) Aber hinsichtlich des ersten kontinuierlichen Auftretens des Pollens dieser Bäume in geringen Prozenten (*empirische Pollengrenze*) scheint wenigstens in großen Zügen Gleichzeitigkeit zu bestehen. Nur das erste Massenauftreten (*rationelle Pollengrenze*) ist von Westen nach Osten und von niederen nach höheren Gebirgslagen zeitlich verschieden gestaffelt, was Rudolph darauf zurückführt, daß infolge besonderer regionaler Verhältnisse die zeitliche „Klimaschwelle" sich für die einzelnen Waldtypen verschiebt. Sehr auffällig ist, daß sich nach den allgemeinen Befunden in Mittel- und Nordeuropa die Bäume mit viel größerer Schnelligkeit ausgebreitet haben müssen, als unseren bisherigen Vorstellungen über die Geschwindigkeit der Wanderung entspricht. Es ist die Aufgabe weiterer Forschung, diesen Gedankengängen im einzelnen nachzugehen.

Der dritte Teil beschäftigt sich mit der Stratigraphie und Entwickelungsgeschichte der böhmischen Moore. Nur einzelne knappe Daten können hier herausgegriffen werden. Für die präboreale Phase, in der die Torfbildung einsetzte, ist neben dem verschiedentlichen Auftreten der Zwergbirke vor allem die Massenproduktion von Braunmoostorf bezeichnend, dessen Charakterpflanze hier wie auch in Westdeutschland ein *subarktisches* Schlafmoos (Hypnum trifarium) darstellt. Die Moore treten zunächst in ein Riedtorfstadium (Flachmoor). Mächtige Schilftorflagen werden häufig durch Waldtorf (Erlenbrüche, Birken und Kiefern) abgelöst (Boreal). Es ist bezeichnend, daß der Schilf und vielfach auch die Erle im Gebirge in wesentlich höheren Lagen vorkommt, als den gegenwärtigen Verhältnissen entspricht. Darin spiegelt sich die Wärmeperiode wieder, die auch in der Tatsache zum Ausdruck gelangt, daß die thermophile Wassernuß (Trapa natans), die heute in Böhmen eine große Seltenheit ist, in der tieferen Region (Kommerner See) von der borealen bis zur subborealen Periode ungemein reich vertreten war. Das entspricht den Verhältnissen in Schweden. In der atlantischen Periode wird in einem Teil der Moore das Hochmoorstadium erreicht, wobei älterer Weißmoostorf gebildet wird, der dann oft im Subboreal durch einen Grenzhorizont abgelöst (Trockenperiode, die im Hügelland vielfach zu einem Erlahmen des Torfzuwachses führt). Erneute Vernässung bedingt dann die Bildung des jüngeren Weißmoostorfs in der kühlen, subatlantischen Phase. Mit der Temperaturabnahme steht es im Zusammenhang, daß jetzt am Riesengebirgskamm die Torfbildung erlischt. Während in den montanen Hochmooren das Knieholz (Pinus montana) zur Dominanz gelangt, findet in den subalpinen Hochmooren Abtragung und Erosion statt. Somit zeichnen sich in der Stratigraphie sowohl Feuchtigkeits- wie auch Temperaturschwankungen ab.

Beiträge zur hormonalen Theorie der Tropismen. Im weiteren Verfolg seiner früheren Untersuchungen bringt Cholodny erneut eine Fülle experimenteller

[1] Entsprechend liegen die Dinge auf einer Taxierungslinie von Süden nach Norden (Alpen bis Schweden).

Ergebnisse, über deren wesentlichste hier kurz berichtet werden soll [Planta **6** (1928)]. Es ist bekannt, daß Gramineenkoleoptilen, die ihrer Spitze beraubt sind, ihre normale geotropische (und phototropische) Reaktionsfähigkeit wiedergewinnen, wenn ihnen die Spitze wieder aufgesetzt wird. Dasselbe tritt nun, wie CHOLODNY zeigen konnte, ein, wenn man die Wurzelstümpfe mit Koleoptilspitzen, die Koleoptilstümpfe mit Wurzelspitzen ausstattet. Nun sind aber die Wurzeln positiv-, die Koleoptilen aber negativ-geotropisch, und es ist daher sehr bemerkenswert, daß sowohl die Wurzel- wie auch die Koleoptilstümpfe trotz der fremdartigen Spitze ihren Reaktionssinn beibehalten. Es ist dabei sogar gar nicht erforderlich, daß man sich an die zugehörige Gramineengattung hält, vielmehr kann man Mais (Zea) mit Hafer (Avena) kombinieren. CHOLODNY findet, daß horizontal gestellte Haferkoleoptilen, denen Wurzelspitzen von Zea aufgesetzt sind, sogar fast ebenso rasch eine geotropische Aufrichtung zeigen, wie intakte Koleoptilen. Dasselbe Ergebnis wurde für phototropische Reaktionen gewonnen. Es besteht nun die Frage, wie der reaktionsfördernde Einfluß der Spitze zu erklären ist. Es bestehen in dieser Hinsicht 2 Auffassungen. Nach der einen, für die GRADMANN auf Grund bestimmter Versuche eingetreten ist, werden beim Geotropismus durch das Horizontallegen auf der Unterflanke geotropische Reizstoffe (nach CHOLODNY sog. „Tropohormone") gebildet, die bei negativ geotropischen Organen eine Wachstumsbeschleunigung, bei positiv geotropischen Organen dagegen eine Wachstumshemmung bedingen, wodurch sich zwangsläufig der negative bzw. positive Geotropismus erklären würde. CHOLODNY dagegen vertritt die Auffassung, daß das Entscheidende lediglich die Zufuhr von Wuchsstoffen von der Spitze nach dem Stumpfe ist. Diese Stoffe — so nimmt er an — strömen bei ungereizten Organen gleichmäßig nach unten, so daß das geradlinige Wachstum in keiner Weise beeinflußt wird, bei einseitig gereizten Organen aber wird der Abstrom der normalen Wuchsstoffe polarisiert. Die Gesamtmenge bleibt gleich, aber die eine Flanke erhält einen Überschuß, bei positiv geotropischen Organen die Oberseite, bei negativ geotropischen die Unterseite. Eine ähnliche Auffassung vertritt WENT jr. für den Phototropismus. Von dieser Warte aus gewinnen die Versuche mit aufgesetzter Spitze eine befriedigende Erklärung; man braucht nur anzunehmen, daß die aufgesetzte Spitze lediglich als Bildungsherd für die normalen Wuchsstoffe in Frage kommt, die dann im Stumpfe polarisiert werden, derart, daß die Gegenflanken verschiedene Dosen erhalten. Dafür bringt CHOLODNY einen sehr schönen Versuch (Fig. 1). Einem



horizontalliegenden Wurzelstumpf von Zea wird eine Koleoptilspitze in normaler Vertikallage angesetzt, deren eine Flanke durch einen glatten Längsschnitt entfernt war, so daß die Wuchsstoffe ungehemmt in den Stumpf überströmen konnten. Es zeigte sich eine ungehemmte geotropische Reaktion, obwohl hier von einer Produktion geotropischer Reizstoffe in der Spitze nicht die Rede sein kann.

Weiterhin wandte CHOLODNY seine Aufmerksamkeit dem Wachstum von normal orientierten Haferkoleoptilstümpfen zu. Durch Versuche von SÖDING ist schon lange bekannt, daß durch Dekapitation das Wachstum gehemmt wird, daß die normale Wachstumsgeschwindigkeit aber einigermaßen wiederhergestellt wird, wenn man den Haferstümpfen die zugehörige Spitze wieder aufsetzt. Jetzt strömen die normalen Wuchsstoffe ungehemmt ab. Wurzeln verhalten sich, wie CHOLODNY zeigen konnte, reziprok: hier bedingt die Spitze eine Wachstumshemmung derart, daß die der Spitze beraubten Stümpfe ein gefördertes Wachstum zeigen. Es war deshalb die Frage zu entscheiden, wie sich die Haferkoleoptilstümpfe verhalten, wenn ihnen Wurzelspitzen von Zea aufgesetzt werden. Die Erfahrung ergab, daß unter diesen veränderten Bedingungen von den Wurzelspitzen eine ***Wachstumsförderung*** ausgeht, daß sie also so wirken, wie wenn eine Koleoptilspitze auf den Stumpf übertragen worden wäre. Freilich schlägt diese Wachstumsförderung nach wenigen Stunden in eine Hemmung um, so daß dann die Koleoptilstümpfe *ohne* Spitze rascher wachsen als die mit der Maiswurzel ausgestatteten. Das sind genau dieselben Ergebnisse, die SÖDING bei seinen Versuchen mit aufgesetzten Haferkoleoptilspitzen gefunden hat und in einleuchtender Weise damit erklärt, daß nach einiger Zeit die Stümpfe ohne Spitze die Spitzeneigenschaften regeneriert haben, so daß wieder eine ökologische Spitze vorhanden ist. Daß dies tatsächlich der Fall ist, zeigt sich darin, daß solche Stümpfe nach einiger Zeit wieder imstande sind, eine geotropische bzw. phototropische Krümmung auszuführen. CHOLODNY hat die SÖDINGschen Versuche, die mit Koleoptilspitzen von Hafer angestellt worden sind, in derWeise variiert, daß er bei einem Teil der Individuen auf Koleoptilstümpfen von Avena Wurzelspitzen von Zea verbracht hat, während ein anderer Teil der Individuen spitzenfrei blieb. Dann wurde einseitig belichtet, und nach 6 Stunden erwiesen sich die spitzentragenden stärker nach dem Lichte gekrümmt. Dann wurden auch 9 Stunden, wo die Krümmungen bei sämtlichen Pflanzen gleich waren, von der entgegengesetzten Seite belichtet, und in beiden Serien schlug die Krümmung um. Jetzt aber reagierten die spitzenlosen Stümpfe stärker, offenbar deshalb, weil bei ihnen die physiologischen Spitzeneigenschaften wiederhergestellt waren, während eine solche Regeneration bei den anderen durch die von der Spitze ausgeschiedenen Stoffe verhindert wurde.

Die Versuche von CHOLODNY, über die hier auszugsweise berichtet wurde, bringen unsere Kenntnis von der hormonalen Reizübertragung um ein gutes Stück weiter. Als wesentlichstes Ergebnis sieht CHOLODNY an, daß die beobachteten Vorgänge bei den Gramineen im Einklang mit der Auffassung von WENT eine befriedigende Erklärung dadurch finden, daß die Wuchsstoffe, die in der Organspitze produziert werden, polarisiert weiter geleitet werden, ohne daß man anzunehmen braucht, daß besondere tropistische Reizstoffe gebildet werden. Es muß der Zukunft überlassen werden, ob diese Auffassung allgemein auch auf andere Objekte übertragen werden kann, was eine wesentliche Vereinheitlichung der Interpretation bedeuten würde. Tatsächlich hat Frau MOISSJEWA in einer Arbeit, über die an dieser Stelle berichtet worden ist, auch für die Papilionaceen entsprechende Argument gebracht.

Blütenknospenverschlüsse bei Wasserpflanzen. In einer kurzen Mitteilung berichtet F. POHL über die Blütenknospe von einigen Wasserpflanzen, die den Gattungen Nymphaea (weiße Seerose), Nuphar (gelbe Seerose), Limnanthemum (Teichblume), Hydrocharis (Froschbiß) und Stratiotes (Wasserschere) angehören. [Biol. generalis (Wien) **4** (1928).] POHL gelangt dabei zu der Feststellung, daß in all diesen Fällen die Kelchblattaußenseite einen schmierigen Überzug aufweist, der aus fettigem Öl besteht. Auffällig ist dabei, daß dieser Überzug nicht gleichmäßig über die

Oberfläche verbreitet ist, sondern vor allem die Partien bevorzugt, wo sich die Kelchblätter im jugendlichen Zustande überdecken. Das führt POHL in einleuchtender Weise darauf zurück, daß hierdurch ein Knospenverschluß geschaffen wird, der die noch jungen, sich submers entwickelnden Blüten vor dem Eintritt des Wassers schützen soll, denn tatsächlich gleitet dieses an der durch das Öl eingefetteten Schicht ab. Speziell bei Limnanthemum konnte POHL nachweisen, daß eine künstlich geöffnete Blütenknospe keinerlei Wasser enthielt, das ja durch seinen Gehalt an Bakterien eine Infektionsgefahr für die noch zarten Blütenorgane bedeuten könnte. POHL mißt dabei dem Umstand, daß dieses Öl nicht dünnflüssig, sondern schmierig und plastisch bis zu wachsartiger Konsistenz ist, noch eine besondere Bedeutung bei, weil somit der schützende Überzug „weniger leicht durch die Kraft des bewegten Wassers fortgespült werden kann". Ökologisch sind diese Erscheinungen in gewissem Sinne den Harzüberzügen gleichzusetzen, die wir so oft an den Knospen verschiedener Holzgewächse (Pappel, Roßkastanie) antreffen.

Der Einfluß der Standortsfeuchtigkeit auf den osmotischen Wert bei Pflanzen. Daß zwischen den Standortsverhältnissen und dem osmotischen Wert der pflanzlichen Zellen gewisse Beziehungen bestehen, ist eine alte Erfahrungstatsache, die besonders durch die schönen Untersuchungen von FITTING an Wüstenpflanzen eine Stütze gefunden hat. Eine eingehende Würdigung hat diese Frage in neuerer Zeit durch ILJIN und seine Schüler gefunden, der nun zusammenfassend darüber berichtet (Planta 7 [1929]). Pflanzen der verschiedensten Standorte wurden in den Kreis der Betrachtung gezogen und von Art zu Art die zugehörigen osmotischen Werte bei Grenzplasmolyse vermittels einer Zuckerlösung bestimmt, sowohl bei den Blättern, wie auch bei den Wurzeln. Speziell für die Wurzeln ergab sich eine ganz gesetzmäßige Steigerung des osmotischen Wertes mit der Bodentrockenheit. „Den kleinsten osmotischen Wert haben wir bei den Sumpfpflanzen beobachtet: 0,13—0,21 Mol.; bei Wiesenpflanzen steigt er bis 0,25 und 0,36 Mol., bei Steppenpflanzen noch höher — bis 0,40 und 0,48 Mol.; und er erreicht endlich bei Pflanzen von trockenen Abhängen die Größe von 0,6 Mol." Bemerkenswert ist, daß diese Staffelung auch bei ein und derselben Art zu beobachten ist, wenn man die Individuen verschiedenen Standörtlichkeiten entnimmt. „So hatten Lysimachia nummularia im Sumpf 0,168 Mol. und auf der Wiese 0,256 Mol.; Poa pratensis auf der Wiese 0,256 Mol. und in einem Abhang 0,576 Mol.; Galium verum auf der Wiese 0,258 Mol. und in der Steppe 0,432 Mol.; Bromus erectus in der Steppe 0,44 Mol. und am Abhang 0,616 Mol; Koeleria gracilis in der Steppe 0,46 Mol. und am Abhang 0,60 Mol." Nur sehr unscharf tritt diese Gesetzmäßigkeit bei Blättern zutage, so daß mitunter direkte Inversionen zu verzeichnen sind, immer aber — und das ist sehr wesentlich — liegt der osmotische Wert ganz wesentlich höher, als bei den Wurzeln und vielfach wird der doppelte Betrag überschritten, im Extrem sogar mehr als das Vierfache erreicht. Die Differenz zwischen dem osmotischen Wert von Wurzeln und Blättern ist also kein konstanter Betrag. An ein und demselben Standort nimmt mit der Zunahme sowohl der Luft, wie auch der Bodenfeuchtigkeit der osmotische Wert zu. Das zeigte sich nicht nur bei Messungen am natürlichen Standort, sondern auch bei künstlichen Kulturen. Man kann hier im Experiment einmal die Bodenfeuchtigkeit variieren durch gestaffelte Wassergaben, dann aber auch die Luftfeuchtigkeit durch Aufzucht im geschlossenen Raum, wobei entweder die Wände mit Wasser beschlagen werden oder Schalen mit mehrminder konzentrierter Schwefelsäure zur Regulierung der Luftfeuchtigkeit aufgestellt werden. Solche Versuche wurden mit Zerealien ausgeführt. Die Ergebnisse mit veränderter Bodenfeuchtigkeit sind aus Tabelle 1, diejenigen mit veränderter Luftfeuchtigkeit aus Tabelle 2 zu ersehen. Die Werte von Tabelle 1 beziehen sich auf Wurzeln,

Tabelle 1.

Bodenfeuchtigkeit	Osmotischer Wert Gerste	Weizen
32%	0,440	0,200
27%	0,490	0,390
22%	0,588	0,630
19%	0,644	0,784

die von Tabelle 2 sowohl auf Wurzeln, wie auch auf Blätter. In schönster Weise kommt in beiden Versuchsreihen der Einfluß der Wasserbilanz zum Ausdruck.

Tabelle 2.

	Osmotischer Wert Blätter	Wurzeln
Sehr feuchte Atmosphäre	0,456	0,264
Feuchte Atmosphäre	0,568	0,300
Trockene Atmosphäre	0,588	0,290
Sehr trockene Atmosphäre	0,630	0,280

Man kann diese Beobachtungen natürlich auch auf Blätter in verschiedener Höhenlage ausdehnen. Dabei tritt zutage, daß grundständige und stengelständige Blätter, wenn die Pflanzen in dichtem Rasen stehen, sehr große Kontraste aufweisen, derart, daß der osmotische Wert nach der Spitze zu ansteigt, daß diese Kontraste aber zurücktreten bei lockerer Stellung. Auch bei ein und demselben Blatt variieren die gefundenen Werte. Gegen die Blattspitze zu ist ein deutliches Anwachsen des osmotischen Wertes zu verzeichnen, desgleichen, wenn man sich von der Blattmitte nach dem Blattrand begibt, sich also von den Stellen günstigsten Wasserzustroms (Hauptnerven!) entfernt. So ergab sich für die Blätter von Rumex acetosa an der Basis ein Wert von 0,43 Mol., für die Mitte 0,45 Mol. und für die Spitze 0,47 Mol. Entsprechende Staffelung wurde in der Querrichtung verzeichnet, indessen fallen auch hier wieder die Differenzen bei günstiger Wasserversorgung fort. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die hier gefundenen Verhältnisse mit der Lebenshaushaltung der Pflanzen an den verschiedenen Standorten im engsten Zusammenhang stehen. ILJIN möchte dabei aber weniger an die Herabsetzung der Transpiration bzw. an die Erleichterung der Wasseraufnahme denken, sondern er erblickt in der Steigerung des osmotischen Wertes eine Einrichtung, die die Trockenresistenz erhöht, eine Auffassung die noch durch weitere Untersuchungen gestützt werden soll.

Standortsfeuchtigkeit und der Zuckergehalt in den Pflanzen. Die Versuche von ILJIN, über die vorstehend berichtet worden ist, haben mit sehr großer Klarheit ergeben, daß der osmotische Wert der Pflanzenzellen mit der Trockenheit wächst. Die Tatsache könnte in zweierlei Weise gedeutet werden: entweder nehmen die Pflanzenzellen mehr Salze aus dem Saftstrom in ihr Inneres auf oder es werden in der Zelle selbst osmotisch wirksame Substanzen gebildet. In erster Linie könnte man hierbei an Zuckerarten denken. Um hierfür Anhaltspunkte zu gewinnen, hat ILJIN (Planta 7 [1929])

aus Blättern, die von verschiedenen, teils trockenen, teils feuchten Standorten entnommen waren, zur groben Orientierung Extrakte hergestellt und deren Zuckergehalt bestimmt. Diese Messungen wurden für sehr zahlreiche Gattungen wechselnder Familienzugehörigkeit durchgeführt. Während der Preßsaft der von feuchten Standorten entnommenen Blättern sich zumeist um die niederen Werte von 0,02—0,03 Mol. Rohrzucker bewegt, wurde bei trockenen Hängen bis zu 0,53 Mol. (das entspricht ca. 11% Rohrzucker) gefunden. Am instruktivsten sind natürlich die Daten, die sich auf ein und dieselbe Art an verschiedenem Standorte beziehen. Auch hier ergeben sich die deutlichsten Schwankungen, wobei aber die Amplitude von Art zu Art recht verschieden ist. Starke Ausschläge gibt z. B. Hedera helix und Ficus carica, nur geringe Myrtus communis. Für Hedera verzeichnet ILJIN beispielsweise folgende Werte in Prozent-Zucker:

1. Schattiges Tal 2,93%
2. Garten an der See . . 3,92%
3. Abhang 5,39%
4. Felsen 7,71%

Der Zuckergehalt ist hier also auf fast den dreifachen Betrag angestiegen. ILJIN ist diesen Dingen aber noch in anderer Weise nachgegangen. Er hat den Zuckergehalt bei demselben Objekt unter verschiedenen Austrocknungsbedingungen bestimmt. Die Pflanzen wurden zu diesem Zweck abgeschnitten und einem mehr oder weniger starken Welken ausgesetzt, wobei von Fall zu Fall der Wasserverlust durch Wägung ermittelt wurde. Es trat dabei zutage, daß der Zuckergehalt proportional der Austrocknung wächst und z. B. bei Rumex conglomeratus bei 20% Wasserverlust auf fast genau den doppelten Betrag anschwillt. Bei Ailanthus glandulosa handelt es sich zunächst bloß um Disaccharide, erst bei stärkerer Austrocknung treten auch Monosaccharide hinzu. Dieselben Beobachtungen wurden bei Inula viscosa gemacht. Diese Ermittlungen sprechen nun tatsächlich dafür, daß die Steigerung des osmotischen Wertes auf die aktive Produktion von Zucker zurückzuführen ist, indessen deuten die näheren Befunde darauf hin, „daß die Gesamtkonzentration nicht nur von Zuckern, sondern auch von anderen chemischen Verbindungen herrührt".

Sagittaria Sagittifolia als Kompaßpflanze. Als Musterbeispiel für die Kompaßpflanzen, die sich mit aufgerichteter Blattspreite in die Nord-Südrichtung einstellen, wird in den Lehrbüchern immer Lactuca scariola namhaft gemacht. Ökologisch werden diese auffälligen Verhältnisse damit erklärt, daß während des höchsten Standes der Sonne das Licht die Blätter von der Schmalseite treffen soll, so daß auf diese Weise sowohl eine zu starke Insolation, wie auch eine damit gekoppelte Transpirationssteigerung vermieden wird. Diese von STAHL aufgestellte Hypothese ist später von KARSTEN experimentell geprüft und bestätigt worden. An Lactuca scariola wurden in der Literatur einige weitere Kompositen aus den Gattungen Lactuca und Chondrilla angereiht. In einem kurzen Aufsatze (Planta 7 [1929]) berichtet nun SCHANDERL über einen neuartigen Fall, der sich auf eine Wasserpflanze bezieht, und zwar das Pfeilkraut (Sagittaria sagittifolia). Dieses Pfeilkraut entwickelt mit einer für viele Wasserpflanzen charakteristischen Plastizität nicht nur untergetauchte und schwimmende Blätter, sondern auch solche, die sich über den Wasserspiegel erheben. SCHANDERL beobachtete nun an einem Standort bei Würzburg, daß diese über den Wasserspiegel emportauchenden Blätter recht verschieden gestaltet sein können, und daß nach seinen Feststellungen die Gestalt von der Lichtbilanz abhängig ist. Bei schlechter Lichtbilanz sind die Blätter breit (*a* in Fig. 1), bei

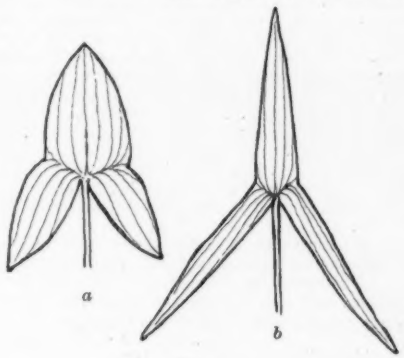


Fig. 1.

starker Insolation aber sind sie schmal, und die Fläche ist reduziert (*b*). Das sind aber nicht die einzigen Unterschiede. Die Beobachtungen ergibt nämlich, daß die breiten Blätter, die hauptsächlich in dichtem Bestand gebildet werden, sich nur schräg über den Wasserspiegel erheben, während die schmalen möglichst vertikale Richtung anstreben. Gleichzeitig stellen sie sich unter Mitwirkung von Torsionen in die Nord-Südrichtung ein, die bei ungefähr 90—100% erreicht wird. Hand in Hand damit geht eine Annäherung in der Ausgestaltung der Ober- und Unterseite, die aber nicht zu einem vollen Ausgleich führt. Auch hierin besteht also eine weitgehende Übereinstimmung mit dem Verhalten der Kompaßpflanzen, während bei ungünstiger Belichtung der normale anatomische Kontrast zwischen Ober- und Unterseite besteht, weil es hier hauptsächlich auf die Ausbeutung des Oberlichtes ankommt. Anschließend daran hat SCHANDERL seine Aufmerksamkeit auch der Flora der Wellenkalkhänge zugewendet. Es fällt auf, daß hier viele Pflanzen (Peucedanum Cervaria, Eryngium campestre, Falcaria Rivini usw.) vertikal gestellte Blattflächen produzieren, ohne daß im allgemeinen eine bestimmte Orientierung zur Nord-Südrichtung zu verzeichnen ist. Aus diesem Rahmen fällt aber mit Deutlichkeit die Cichorie (Cichorium intypus) heraus, die im Extrem den reinen Kompaßpflanzentypus verwirklicht. Ähnlich verhält sich Lactuca perennis. Es darf vermutet werden, daß, wie schon STAHL angenommen hat, bei genauerer Beobachtung der Kreis der Kompaßpflanzen noch durch weitere Beispiele wird vermehrt werden können. STARK.

Astronomische Mitteilungen.

Eine Vergleichung der ultravioletten Strahlung der Sonne und irdischer Lichtquellen ist von E. PETTIT ausgeführt worden, worüber er in den Transactions of the Twenty-fourth Annual Meeting of the National Tuberculosis Association berichtet.

Für medizinische Zwecke ist der Teil des Spektrums

zwischen den Wellenlängen λ 0.29 μ und 0.31 μ von Bedeutung. Durch Bestrahlung mit Licht dieser Wellenlängen wird Ergosterol in Vitamin D umgewandelt. PETTIT nennt daher diesen Teil des Spektrums den „biologischen" Teil.

Die gewöhnlichen irdischen Lichtquellen senden im allgemeinen nur wenig Licht dieser kurzen Wellenlängen aus. Auch der gewöhnliche Kohlebogen ist relativ schwach an Strahlung im biologischen Spektralteil. Durch Tränken der Kohle mit Eisen-, Wolfram- oder Kobaltsalzen, die ein linienreiches Spektrum im Ultraviolett besitzen, kann die Strahlung des Kohlebogens im biologischen Teil des Spektrums erhöht werden. Von besonderer Bedeutung ist der Quecksilberbogen; seine Strahlung zeigt eine andere Verteilung im biologischen Spektralteil als die des Kohlebogens mit getränkten Elektroden. Neben diesen irdischen Lichtquellen kommt weiter die Sonne in Betracht. Ihr kontinuierliches Spektrum ist zwar reich an ultravioletter Strahlung, jedoch erreicht diese die Erdoberfläche infolge der starken Absorption in einer etwa 50 km hoch liegenden Ozonschicht nur stark geschwächt.

Die Messung der Intensität der Strahlung dieser verschiedenen Lichtquellen nahm PETTIT mit empfindlichen Thermoelementen vor und erhielt die in der folgenden Zusammenstellung wiedergegebenen Zahlen.

Lichtquelle	Intensität der Strahlung in Watt pro Quadratmeter	
	λ 0,29 μ – 0,31 μ	λ 0,29 μ – 0,302 μ
Therapeut. Quecksilberbogen bei 400 Watt .	4,2	1,8
Therapeut. Quecksilberbogen bei 200 Watt .	1,2	0,5
Kohlebogen mit getr. Elektr. bei 868 Watt .	1,0	0,2
Sonne in Meereshöhe . .	0,7	0,04
Sonne + Himmel . . .	1,4	0,1

Außer dieser in erster Linie für medizinische Zwecke in Betracht kommenden Vergleichung hat die Untersuchung aber auch astronomisches Interesse, da PETTIT die Sonnenstrahlung in den beiden Spektralteilen bei λ 0.32 μ und 0.5 μ seit 1924 fortlaufend gemessen hat. Die Intensität der Sonnenstrahlung in diesen beiden Wellenlängen wurde mit zwei einander gleichen Thermoelementen gemessen. Vor dem einen Element befand sich eine versilberte Quarzplatte, welche Licht der Wellenlänge 0.32 μ hindurchläßt, vor dem anderen war eine vergoldete Platte befestigt, welche für Licht bei λ 0.5 μ, also in der Nähe des Maximums der Energiekurve der Sonnenstrahlung, durchlässig ist. Die Galvanometerausschläge wurden photographisch auf einer bewegten Platte registriert. Mit diesem Apparat konnte die Sonnenstrahlung in den genannten Spektralgebieten den ganzen Tag über in Abständen von Minute zu Minute gemessen werden. Nach Reduktion der beobachteten Strahlungsintensität auf einen Punkt außerhalb der Atmosphäre kann man das Verhalten der ultravioletten Strahlung durch den Vergleich mit der bei λ 0.5 μ studieren. Die Beobachtungen PETTITS zeigen nun, daß die kurzwellige Sonnenstrahlung in den von den Messungen umfaßten Jahren um mehr als 50% geschwankt hat. Im November 1925 und März 1927 traten Maxima ein, während im April 1926 und Dezember 1927 Minima der kurzwelligen Strahlungsintensität vorhanden waren. Der Verlauf der beobachteten Kurve der Intensitäten entspricht weitgehend dem Verlauf der Kurve der Sonnenfleckenhäufigkeiten.

Nach diesen Feststellungen ist die Sonne ein veränderlicher Stern mit der größten Schwankung der Strahlung im ultravioletten Teil des Spektrums. Nach PETTIT ist die Schwankung bei λ 0,30 μ wahrscheinlich noch um 20% größer als bei λ 0.32 μ.

Die physikalischen Eigenschaften einer interstellaren Materie. Die Untersuchungen von O. STRUVE über die Intensität der in Sternen der Spektralklassen O bis B3 auftretenden Calciumlinie K (vgl. diese Zeitschrift S. 171) machen es in hohem Grade wahrscheinlich, daß der gesamte Raum von einer fein verteilten Materie in atomarem Zustande erfüllt ist. Im Astrophys. J. **69**, 7 untersuchen GERASIMOVIČ und STRUVE die physikalischen Eigenschaften dieser interstellaren Materie, insbesondere diejenigen des interstellaren Calciums.

Aus dem vorhandenen Beobachtungsmaterial ergibt sich der Absorptionskoeffizient der interstellaren K-Linie in erster Annäherung unabhängig von der Entfernung des Sternes, in dessen Spektrum die Linie auftritt. Er ist also konstant für den der Beobachtung bisher zugänglichen Teil des Raumes; sein Wert ist $1{,}1 \times 10^{-23}$ pro Zentimeter. Die Dichte des ionisierten, interstellaren Calciums wird unter Verwendung von Größen, die sich aus der Chromosphäre der Sonne für die Ca^+-Absorption und aus Laboratoriumsversuchen über die Intensitäten der Emissionslinien H und K ergeben, zu $3{,}6 \times 10^{-33}$ pro Kubikzentimeter abgeleitet. Für die Dichte der interstellaren Materie aller chemischen Elemente finden die Verfasser einen Wert zwischen 10^{-26} und 5×10^{-27} pro Kubikzentimeter, wohingegen EDDINGTON hierfür früher 10^{-24} pro Kubikzentimeter angegeben hat. Von den vorhandenen Ca-Atomen sind nach der Rechnung praktisch alle doppelt ionisiert.

Besonderes Interesse verdient das interstellare Natrium. In mehreren Sternen, welche die interstellare K-Linie zeigen, sind auch die D-Linien beobachtet worden, welche man ihrem Verhalten nach ebenfalls auf interstellaren Ursprung zurückführt. Die Verfasser führen die Rechnung für Natrium nach den gleichen Annahmen wie für Calcium durch und finden, daß Natrium vollständig einfach ionisiert ist; etwa 6×10^{-3} Na-Atome sind doppelt ionisiert. Für die Intensität der D-Linien folgt aus der Rechnung, daß sie etwa nur $^1/_{500}$ der Intensität der K-Linie sein dürfte. Hiernach sollten die Natriumlinien überhaupt nicht sichtbar werden. Nach den vorhandenen Beobachtungen sind die Intensitäten der Na-Linien jedoch nicht viel geringer als die der K-Linie und zeigen überdies das gleiche Verhalten wie diese. Man kann diesen Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung durch keine plausible Abänderung der in die Rechnung eingehenden Größen beseitigen. Vielleicht könnte er durch neuere Laboratoriumsdaten über die D-Linien vermindert werden.

Die dynamische Bedeutung der interstellaren Materie ist nur gering. Die Gesamtmasse kann nicht größer sein als $^1/_{100}$ der gesamten Sternmasse pro Volumeneinheit. Ihr Gravitationseffekt ist daher gering, und auch der Widerstand, den sie den Bewegungen der Sterne entgegensetzt, ist zu vernachlässigen. Aus dem Verhalten der aus der K-Linie abgeleiteten und von der Sonnenbewegung befreiten Radialgeschwindigkeiten folgt, daß die interstellare Materie auch an der zuerst von OORT untersuchten Rotation des Sternsystems teilnimmt.

OTTO KOHL.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.